



**Raul Manuel Costa Alves**

Licenciado em Engenharia Civil

## **Argamassas no Arquipélago da Madeira**

### **Caracterização da “Brita Lavada”**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientadora: Maria Paulina Faria Rodrigues, Professora Associada da  
Faculdade de Ciências e Tecnologias, da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Corneliu Cismasiu

Arguente(s): Prof. Doutor Fernando Farinha da Silva Pinho

Vogal(ais): Prof. Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março 2016**



**“Copyright” Raúl Manuel Costa Alves, FCT/UNL e UNL**

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

Finalizada mais uma etapa da minha vida académica quero agradecer a todos aqueles que contribuíram para a conclusão da minha dissertação, que apesar de ser um processo solitário, reúne contributos de natureza diversa que não podem deixar de ser realçados. Por este motivo desejo expressar os meus sinceros agradecimentos:

À minha orientadora Professora Doutora Paulina Faria, pela enorme partilha de conhecimentos, pela excelente orientação, por estar sempre presente, disposta a ajudar e pela simpatia demonstrada durante a execução deste trabalho.

Ao Engenheiro Vítor Silva, pelo apoio, incentivo, pelo acompanhamento durante a realização de toda campanha experimental e pelo esclarecimento de muitas dúvidas, que foram fundamentais para a realização dos ensaios realizados.

Ao Marco Reis, Dono da empresa Reis e Sousa, pela disponibilização dos agregados basálticos utilizados nas argamassas e pela informação fornecida que foi essencial para realizar toda a campanha experimental.

A todos os meus amigos, dentro e fora da Faculdade e a todos os colegas de curso que constituíram uma ajuda fundamental ao longo do meu percurso académico em especial ao Nuno Remédios, ao Guilherme Coelho, ao Dinarte Gouveia, ao André Valério e ao Joel Neto.

A toda a minha família que me ajudou e impulsionou durante os bons e os maus momentos. Aos meus irmãos, em especial ao Edmundo pela ajuda no fornecimento da pedra basáltica utilizada na Dissertação. Às minhas irmãs, em especial à minha irmã Delta pelo apoio e ajuda na construção e escrita da Dissertação.

Aos meus pais, pelo apoio e confiança transmitidos durante toda esta etapa, ao Meu Pai Manuel pelas entrevistas realizadas e pelo conhecimento passado e à minha mãe Teresa, pelo apoio incondicional e por me incentivar a nunca desistir dos meus objetivos.

Por último mas não menos importante, um agradecimento à minha namorada, Cátia Vieira, pelo amor e carinho, pelo apoio, ajuda, confiança e amizade demonstrada, obrigado por tudo.



## Resumo

No séc. XV foram construídas as primeiras construções na atual região autónoma da Madeira (RAM) aparecendo assim as argamassas regionais. O início do séc. XVII foi marcado pelo apogeu da utilização de argamassas de cal aérea, com base na exploração da cal no Porto Santo no final do séc. XVI. Nos primórdios do séc. XX as argamassas eram constituídas essencialmente por cal aérea, proveniente do Porto Santo, e agregados de origem vulcânica, originários das ribeiras e do Oceano. A partir de 1940 o cimento Portland passou a ser o ligante principal utilizado nas argamassas regionais. No entanto, no séc. XX foi desenvolvida uma nova argamassa regional, designada por brita lavada, cuja aplicação simula revestimento a pedra de cantaria. Esta argamassa é constituída por cimento, basalto britado e pigmento negro. Depois de aplicada, a sua superfície é lavada para deixar o agregado à vista.

No início do séc. XXI ocorre uma enorme mudança no sector da construção na RAM com o surgimento de novos produtos, como as argamassas pré-doseadas em fábrica, e de novas técnicas de aplicação de argamassas. Mas embora o método tradicional de elaborar argamassas em obra tenha passado a ser menos frequente, a utilização da brita lavada feita em obra tem crescido imenso nos últimos anos e a sua aplicação inicial para imitar cantaria evoluiu, alargando-se também a outros tipos de aplicação. Hoje em dia esta argamassa e tecnologia de aplicação já do século passado tem diversas aplicações, nomeadamente como argamassa de revestimento de paredes.

A presente dissertação tem como objetivo efetuar uma avaliação e caracterização das propriedades da brita lavada no que diz respeito à sua aplicação em revestimentos de paredes, muitas vezes lado a lado com sistemas correntes de reboco aplicados em diversos edifícios da RAM. Assim efetuou-se um estudo que incidiu sobre uma argamassa elaborada em laboratório utilizando os materiais tradicionais da brita lavada e a sua dosagem mais corrente. Para comparação formularam-se uma argamassa semelhante mas sem incluir pigmento, argamassas com dosagens idênticas mas nas quais o agregado basáltico foi substituído por outro agregado e ainda uma argamassa de reboco corrente. Determinou-se o comportamento físico-mecânico de todas as argamassas e avaliou-se a influência da adição do pigmento e do agregado grosso, comparativamente às características de uma argamassa de reboco corrente. Foi ainda possível realizar a caracterização da pedra natural que dá origem ao agregado basáltico utilizado tradicionalmente na argamassa de brita lavada.

Os resultados dos ensaios laboratoriais revelaram que a argamassa de brita lavada apresenta boas características físico-mecânicas quando comparada com uma argamassa de reboco tradicional e que a adição de pigmento, para além da alteração do aspeto estético, contribui, de um modo geral, positivamente no seu comportamento. Foi ainda possível observar que a pedra natural da RAM caracterizada apresenta boas propriedades para a aplicação em vista, contribuindo de forma positiva quando adicionada como agregado na argamassa de brita lavada.

**Palavras-chave:** argamassa, cimento, pigmento, basalto, brita lavada, característica físico-mecânica.





## Abstract

In the fifteenth century the first primitive buildings were built in the current autonomous region of Madeira (ARM) thus appearing the regional mortars. In the early seventeenth century there was the apogee of the use of air lime mortars in ARM based on the exploitation of lime in Porto Santo in the late sixteenth century. In the early twentieth century the mortars were mainly based on air lime, from Porto Santo, and aggregates of volcanic origin, from the rivers and the ocean. Since the 40's Portland cement becomes the main binder used in regional mortars. However, in the twentieth century a new regional mortar, called "brita lavada", was developed whose application simulates a quarry stone masonry or stone cladding. The mortar is constituted by cement, crushed basalt and black pigment. Once applied, its surface is washed to leave the aggregate visible.

In the early twenty-first century a huge change occurs in the construction sector in ARM with the emergence of new products, as industrial mortars, and new mortar application techniques. But although the traditional method to prepare mortars in the construction site has come less frequent, the use of site-made "brita lavada" has grown enormously in recent years and its initial application, to replicate stonework evolved, expanded also to other types of application. Nowadays this mortar and application technology has several applications, even as wall coating mortar.

This dissertation aims to perform an evaluation and characterization of the properties of "brita lavada" with regard to its application on wall coatings, often side by side with current rendering mortars. Thus a study was performed focusing on a mortar prepared in the laboratory using traditional materials of "brita lavada" and its most common dosage. For comparison a similar mortar but without including pigment was formulated, as well as mortars with identical dosages but in which the basalt aggregate was replaced by another aggregate and also a current rendering mortar. The physico-mechanical behaviour of all mortars was determined and the influence of the pigment and the aggregate was evaluated, in comparison with the characteristics of the rendering mortar. It was also possible to conduct an assessment and characterization of the natural basalt which originates the basaltic aggregate traditionally used in the "brita lavada".

The results of the laboratory trials showed that the "brita lavada" exhibits good physico-mechanical characteristics when compared to a traditional rendering mortar and that the addition of the pigment contributes, in general, positively. It was also possible to observe that the basalt exhibits good properties for the application in view, contributing positively when added as aggregate in the "brita lavada".

**Keywords:** mortar, cement, pigment, basalt, "brita lavada", physico-mechanical characterization.



# Índice de Texto

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento geral .....	1
1.2. Objetivos e metodologia .....	1
1.3. Estrutura de trabalho .....	2
<b>2. Enquadramento Histórico da Construção na Região Autónoma da Madeira .....</b>	<b>3</b>
2.1. Enquadramento .....	3
2.2. Primeiras Construções na RAM .....	3
2.3. Construções, Técnicas e Materiais dos Séculos XV e XVI .....	4
2.4. Construções, Técnicas e Materiais dos Séculos XVII a XIX .....	6
2.5. Construções, Técnicas e Materiais a Partir do Século XX .....	10
<b>3. Argamassas e Materiais Constituintes na RAM .....</b>	<b>15</b>
3.1. Enquadramento .....	15
3.2. Argamassas Vernaculares nos Séculos XV e XVI .....	15
3.3. Argamassas Vernaculares nos Séculos XVII a XIX .....	16
3.4. Argamassas Tradicionais a Partir do Século XX .....	17
3.5. A Brita Lavada .....	22
3.6. Estudos Anteriores sobre Argamassas do tipo da Brita Lavada .....	28
3.7. Estudos Anteriores sobre Caracterização de Pedra para a Construção .....	29
<b>4. Campanha Experimental .....</b>	<b>31</b>
4.1. Enquadramento .....	31
4.2. Materiais Utilizados nos Ensaios .....	31
4.2.1. Ligante - Cimento Portland .....	31
4.2.2. Agregados .....	32
4.2.3. Pigmento .....	32
4.2.4. Pedra Basáltica .....	33
4.3. Plano de Ensaio e Formulação das Argamassas .....	33
4.4. Procedimentos de Ensaio .....	34
4.5. Ensaio Relativos às Matérias-Primas .....	35
4.5.1. Análise Granulométrica .....	35
4.5.2. Volume de Vazios .....	36
4.5.3. Baridade .....	37
4.6. Preparação dos Provetes de Argamassa e de Pedra Natural .....	37
4.7. Ensaio Efetuados às Argamassas no Estado Fresco .....	38
4.7.1. Consistência por Espalhamento .....	38
4.7.2. Massa Volúmica .....	38

4.8.	Ensaios Efetuados às Argamassas no Estado Endurecido e à Pedra Natural.....	39
4.8.1.	Análise Visual - Argamassas.....	40
4.8.2.	Módulo de Elasticidade Dinâmico - Pedra Natural.....	40
4.8.3.	Resistência à Tração por Flexão - Argamassas e Pedra Natural .....	40
4.8.4.	Resistência à Compressão - Argamassas e Pedra Natural .....	41
4.8.5.	Absorção de Água por Capilaridade - Argamassas .....	42
4.8.6.	Secagem - Argamassa .....	42
4.8.7.	Porosidade Aberta e Massa Volúmica Aparente - Argamassas e Pedra Natural .....	44
4.8.8.	Permeabilidade ao Vapor de Água - Argamassas .....	44
4.8.9.	Absorção de Água a Baixa Pressão: Tubos de Karsten - Argamassas.....	46
4.8.10.	Absorção de Água à Pressão Atmosférica - Pedra Natural .....	47
4.8.11.	Velocidade de Propagação dos Ultrassons - Pedra Natural .....	47
4.8.12.	Índice Esclerométrico - Pedra Natural.....	48
<b>5.</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>49</b>
5.1.	Enquadramento .....	49
5.2.	Caracterização dos Constituintes das Argamassas.....	49
5.3.	Análise dos Resultados - Argamassas.....	52
5.3.1.	Caracterização das Argamassas no Estado Fresco .....	52
5.3.2.	Caracterização Visual das Argamassas.....	53
5.3.3.	Caracterização Mecânica das Argamassas .....	54
5.3.4.	Caracterização Física das Argamassas .....	55
5.3.5.	Comparação entre os Resultados Obtidos - Argamassas .....	59
5.4.	Análise dos Resultados - Pedra Natural.....	64
5.4.1.	Caracterização Mecânica da Pedra Natural.....	64
5.4.2.	Caracterização Física da Pedra Natural.....	67
5.4.3.	Caracterização do Basalto face a Pedras Portuguesas.....	69
<b>6.</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>71</b>
6.1.	Considerações Finais .....	71
6.2.	Conclusões Finais .....	71
6.3.	Desenvolvimentos Futuros .....	72
	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>73</b>
	<b>Anexo – Valores individuais dos ensaios .....</b>	<b>1</b>

## Índice de Figuras

Figura 2.1 – Diferentes partes do vão de cantaria: 1. Lumieira; 2. Mineo de cima; 3. Juntouro ou cunha; 4. Mineo de baixo .....	6
Figura 2.2 – Forte de Nossa Senhora do Amparo: fachada principal (esq.), portão de armas (centro) e fachada virada para o mar (dir.) .....	7
Figura 2.3 – Pormenores de edifício na Barreirinha, Concelho do Funchal: vão de porta interior (esq.), paredes interiores em tabique (dir.), tabiques preenchidos com aparas de madeira (centro) .....	8
Figura 2.4 – Edifícios na Zona da Barreirinha, no Concelho do Funchal (esq.), pormenor do tapa-sol de madeira visto pelo interior (dir.), pormenor do tapa-sol de madeira visto pelo exterior (centro) .....	11
Figura 2.5 – Chalés localizadas no Concelho de Machico: na Rua da Estacada (esq.), perto da Capela de São Roque (dir.) .....	12
Figura 2.6 – Muro de pedra à vista na habitação do Mestre Pedreiro Marco Alves, no Concelho de Machico (esq.); capeamento em brita lavada (centro) e pormenor da esquina em brita lavada (dir.) .....	14
 Figura 3.1 – Areia da ribeira com diferentes granulometrias .....	16
Figura 3.2 – Argamassa corrente de assentamento à base de cimento feita em obra (esq.), assentamento corrente de alvenaria de blocos de betão com argamassa de assentamento à base de cimento (dir.) .....	20
Figura 3.3 – Brita lavada numa moradia no Concelho de Machico aplicada em pavimentos (esq.), em paredes (centro), no capeamento de paredes e em escadas (dir.) .....	22
Figura 3.4 – Chaminé em brita lavada .....	24
Figura 3.5 – Pavimento realizado em brita lavada onde é possível visualizar desenhos de diversas cores .....	25
Figura 3.6 – Escadas (esq.) pormenor do dente da escada (dir.) em brita lavada .....	27
Figura 3.7 – Antiga fábrica e novo centro de artes contemporâneas da Ribeira Grande nos Açores (esq.) e os dois tipos de superfície de betão armado, polido e bujardado (dir.) .....	28
 Figura 4.1 – Esquema dos ensaios realizados à argamassa e à pedra natural .....	34
Figura 4.2 – Dois picnómetros e o tubo capilar utilizados no cálculo do volume de vazios .....	36
Figura 4.3 – Provetes cilíndricos antes da lavagem (esq.) e após lavagem (dir.) .....	38
Figura 4.4 – Apoios com 150mm entre si (esq.) e sistema de ensaio à tração por flexão (dir.) .....	41
Figura 4.5 – Cobrimento da superfície inferior do provete (esq.) provetes de argamassa dispostos na bancada durante o ensaio à secagem (dir.) .....	43
Figura 4.6 – Ensaio de permeabilidade ao vapor de água, realizado aos provetes de argamassa, utilizando a câmara climática .....	45
Figura 4.7 – Ensaio de absorção de água a baixa pressão, realizado aos provetes de argamassa, utilizando os tubos de karsten vedados com plasticina .....	46
Figura 4.8 – Ensaio de absorção de água à pressão atmosférica, realizado aos provetes de pedra natural: cubicos 4cm (esq.) e cubicos 7cm (dir.) .....	47

Figura 4.9 – Equipamento de teste ultrassónico Pudit Lab com os provetes prismáticos de pedra natural 4cmx4cmx16cm.....	48
Figura 4.10 – Esclerometro pendular PT e ensaio da pedra contra a parede de reação do laboratório EP - antes do ensaio (esq.) e depois do ensaio (dir.) .....	48
Figura 5.1 – Curva granulométrica dos três agregados utilizados na realização das argamassas.....	49
Figura 5.2 – Parede com brita lavada e juntas com argamassa de reboco tradicional .....	52
Figura 5.3 – Superfície do provete da brita lavada onde é possível visualizar com maior detalhe a zona de mistura do ligante com o pigmento (esq.) e o agregado (dir.) .....	54
Figura 5.4 – Massa volúmica no estado fresco e endurecido, por método geométrico e hidrostático das argamassas .....	56
Figura 5.5 – Quantidade de água absorvida sob baixa pressão durante 60 minutos.....	56
Figura 5.6 – Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas.....	57
Figura 5.7 – Curvas de secagem TS1 (esq.) e TS2 (dir.) .....	58
Figura 5.8 – Comparação entre a absorção de água a baixa pressão e a permeabilidade ao vapor de água.....	59
Figura 5.9 – Comparação entre a absorção de água sob baixa pressão e a porosidade aberta .....	60
Figura 5.10 – Comparação entre a porosidade aberta e a resistência à compressão (esq.) e a resistência à tração por flexão (dir.) .....	60
Figura 5.11 – Comparação entre a porosidade aberta e o coeficiente de absorção de água por capilaridade (esq.) e o valor assintótico (dir.) .....	61
Figura 5.12 – Comparação entre a absorção de água por capilaridade e a absorção de água a baixa pressão.....	61
Figura 5.13 – Comparação entre porosidade aberta e a permeabilidade ao vapor de água .....	62
Figura 5.14 – Comparação entre a absorção de água por capilaridade e a permeabilidade ao vapor de água.....	62
Figura 5.15 – Comparação entre a porosidade aberta e o índice de secagem.....	63
Figura 5.16 – Provette antes (esq.) e depois (dir.) da rotura do provete de argamassa no ensaio à compressão .....	65

## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 – Estudos que avaliam determinadas propriedades de argamassas e betões com pigmentos inorgânicos .....	29
Tabela 3.2 – Estudos que avaliam determinadas propriedades de pedras naturais .....	30
Tabela 4.1 – Descrição das cinco formulações de argamassas realizadas em laboratório .....	33
Tabela 4.2 – Normas utilizadas na realização dos ensaios aos materiais constituintes das diversas argamassas .....	35
Tabela 4.3 – Serie de peneiros utilizados para análise granulométrica com a primeira fase (esq.) e a segunda fase (dir.).....	35
Tabela 4.4 – Normas utilizadas durante os ensaios às diferentes argamassas no estado fresco .....	38
Tabela 4.5 – Normas e fichas de ensaio utilizados nos ensaios realizados aos provetes prismáticos de argamassa no estado endurecido .....	39
Tabela 4.6 – Normas e fichas de ensaio utilizados nos ensaios realizados aos provetes de pedra natural proveniente da RAM.....	39
Tabela 5.1 – Valores percentuais de material grosso, médio e fino para cada gravilha e ainda os valores de máxima dimensão (D), máxima dimensão de Faury ( $D_F$ ) e mínima dimensão (d) .....	50
Tabela 5.2 – Valores de baridade, volume de vazios e índice de vazios .....	50
Tabela 5.3 – Designação, traços em massa e em volume e relação água/ligante das argamassas .....	51
Tabela 5.4 – Percentagens mássicas de cada formulação utilizada para cada argamassa .....	52
Tabela 5.5 – Resultados obtidos nos ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco.....	53
Tabela 5.6 – Resistência à tração por flexão e à compressão das argamassas.....	54
Tabela 5.7 – Porosidade aberta, massa volúmica aparente, coeficiente de capilaridade, valor assintótico, taxa de secagem da fase 1 e taxa de secagem da fase 2 e índice de secagem das argamassas .....	55
Tabela 5.8 – Absorção de água a baixa pressão dos provetes de argamassa para 5 min e 60 min .....	57
Tabela 5.9 – Fluxo de vapor de água por unidade de tempo (valor médio, desvio padrão e coeficiente de correlação).....	58
Tabela 5.10 – Permeabilidade ao vapor de água, resistência à difusão de vapor de água, espessura da camada de difusão de vapor de água e permeância ao vapor de água .....	59
Tabela 5.11 – Distância percorrida ( $d_{us}$ ), tempo de trânsito ( $t_{us}$ ) e velocidade de pulso ( $V_{us}$ ) para a pedra natural.....	64
Tabela 5.12 – Resistência à compressão, resistência à tração por flexão e módulo de elasticidade dinâmico para a pedra natural.....	64
Tabela 5.13 – Valores estatísticos da resistência à tração por flexão dos provetes de pedra natural .....	65
Tabela 5.14 – Valores estatísticos do ensaio à compressão dos provetes de pedra natural.....	65
Tabela 5.15 – Resistência à tração por flexão, compressão e velocidade de propagação dos ultrassons de várias pedras .....	66
Tabela 5.16 – Módulo de elasticidade dinâmico e índice esclerométrico para basalto .....	67

Tabela 5.17 – Massa seca ( $m_d$ ), massa saturada ( $m_s$ ) e absorção de água à pressão atmosférica ( $A_b$ ) da pedra basáltica .....	67
Tabela 5.18 – Porosidade aberta, massa volúmica aparente e absorção de água à pressão atmosférica da pedra basáltica .....	68
Tabela 5.19 – Massa volúmica por método geométrico.....	68
Tabela 5.20 – Massa volúmica aparente, porosidade aberta e absorção de água à pressão atmosférica de várias pedras .....	68
Tabela A.1 – Volume de vazios e índice de vazios dos constituintes das argamassas .....	1
Tabela A.2 – Consistência por espalhamento das argamassas no estado fresco .....	1
Tabela A.3 – Módulo de elasticidade dinâmico do basalto .....	2
Tabela A.4 – Resistência à tração por flexão das argamassas e do basalto .....	3
Tabela A.5 – Resistência à compressão das argamassas e do basalto.....	4
Tabela A.6 – Coeficiente de capilaridade e valor assintótico das argamassas .....	5
Tabela A.7 – Porosidade aberta e massa volúmica aparente das argamassas.....	6
Tabela A.8 – Índice de secagem e taxas de secagem das fases 1 e 2 das argamassas .....	8
Tabela A.9 – Fluxo de vapor de água por unidade de tempo e o respetivo coeficiente de correlação das argamassas .....	9
Tabela A.10 – Permeância ao vapor de água, espessura da camada equivalente de difusão de vapor de água, permeabilidade ao vapor de água e resistência à difusão de vapor de água das argamassas .....	9
Tabela A.11 – Absorção de água a baixa pressão para 5 e 60 minutos das argamassas.....	10
Tabela A.12 – Absorção de água à pressão atmosférica do basalto.....	10
Tabela A.13 – Velocidade de propagação dos ultrassons do basalto .....	11
Tabela A.14 – Índice esclerométrico do basalto .....	11



# Simbologia

## Abreviaturas

CEN – Comité Européen de Normalisation.

DEC – Departamento de Engenharia Civil.

EN – European Norm.

FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia.

UNL – Universidade Nova de Lisboa.

IPQ – Instituto Português de Qualidade.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

NP – Norma Portuguesa.

SCH – Secção de Construção e Hidráulica.

ASTM – American Society for Testing and Materials.

RAM – Região Autónoma da Madeira.

CP – Continente Português.

AR – Areia de Reboco.

GM – Gravelha da Madeira.

GC – Gravelha do Continente Português.

EP – Estruturas Pesadas.

Fe – Ficha de Ensaio.

PN – Pedra Natural.

Arg. – Argamassas.

## Argamassas

Mp – Argamassa designada de “brita lavada”, com cimento Portland, gravelha da Madeira e pigmento, com traço volumétrico 1:1,72:0,02.

Cp – Argamassa com cimento Portland, gravelha de Portugal Continental e pigmento, com traço volumétrico 1:1,72:0,02.

M – Argamassa com cimento Portland e gravelha da Madeira, com traço volumétrico 1:1,72.

C – Argamassa com cimento Portland e gravelha de Portugal Continental, com traço volumétrico 1:1,72.

R – Argamassa com cimento Portland e areia de Portugal Continental, com traço volumétrico 1:4,42.

## Ensaio e Determinações

D – Máxima Dimensão.

$D_F$  – Máxima Dimensão de Faury.

d – Mínima Dimensão.

$V_V$  – Volume de Vazios.

e – Índice de Vazios.

$M_{vap}$  – Massa Volúmica Aparente.

Esp – Espalhamento.

$\rho_{Prov}$  – Massa Volúmica do Provete.

$E_{din}$  – Modulo de Elasticidade Dinâmico.

$R_F$  – Resistência à Tração por Flexão.

$R_C$  – Resistência à Compressão.

M – Quantidade de Água Absorvida.

CC – Coeficiente de Capilaridade.

VA – Valor Assintótico.

$P_{ab}$  – Porosidade Aberta.

IS – Índice de Secagem.

TS – Taxa de Secagem.

$W_p$  – Permeância ao Vapor de Água.

$\delta_p$  – Permeabilidade ao Vapor de Água.

$S_d$  – Espessura de Camada de Ar de Difusão Equivalente.

$\mu$  - Fator de Resistência à Difusão do Vapor de Água.

$Q_i$  – Quantidade de Água Absorvida para i Minutos.

$W_i$  – Quantidade de Água Absorvida a Baixa Pressão para i Minutos.

$A_b$  – Absorção de Água á Pressão Atmosférica.

$m_d$  – Massa Seca de Cada Provete.

$m_s$  – Massa Saturada de Cada Provete.

$d_{us}$  – Distancia Percorrida pelas Ondas Ultrassónicas.

$T_{us}$  – Tempo de Propagação de Ondas Ultrassónicas.

$V_{us}$  – Velocidade de Propagação dos Ultrassons.

$I_{esc}$  – Índice Esclorométrico.

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento geral

Desde o descobrimento do Arquipélago da Madeira até os dias de hoje, o construtor madeirense tem elaborado diversos tipos de argamassas. Nos edifícios religiosos edificadas no séc. XV e XVI, foram utilizadas argamassas de cal, proveniente do Continente; já no caso dos edifícios populares a argamassa utilizada era pouca ou nenhuma mas, em contrapartida, abundava a madeira e a pedra proporcionando a construção de habitações de madeira, chamadas “cabanas” e habitações de alvenaria de pedra. «Neste ambiente a casa de pedra, tão familiar à gente do Algarve, apenas foi precedida das cabanas de madeira e colmo, que como em toda a parte, correspondem à primeira e precária forma de instalação» (Aragão, 1979). Nos séculos XVII e XVIII, após a exploração da cal no arquipélago, era possível encontrar-se na cidade casas apalaçadas, inspiradas nas casas antigas portuguesas, apresentando uma arquitetura rica e sóbria, condicionadas às necessidades do meio e aos materiais existentes na ilha. No séc. XIX surgem as influências de outros povos, como os ingleses, que construíam as suas abastadas quintas e palácios na ilha: «No séc. XIX, impôs-se a “quinta madeirense”, a casa colonial, de gosto inglês, ajardinada e com frondosas árvores, de que se guardam alguns belíssimos exemplares» (Ramos, 1879).

No Arquipélago da Madeira, a partir de meados do séc. XX, dá-se praticamente a total substituição da cal aérea, que até aí era produzido no Porto Santo, pelo cimento Portland, transportado do Continente. Neste século surge uma argamassa com formulação e tecnologia de aplicação especial designada por brita lavada. Este produto surge como uma alternativa à pedra basáltica de cantaria, numa altura em que o preço da pedra sobe devido à escassez e ao aumento da procura. Desde o início do séc. XXI até a atualidade, nota-se um acréscimo na utilização de argamassas pré-doseadas na edificação de edifícios no Arquipélago da Madeira e uma diminuição das argamassas feitas *in situ*. Porém a utilização da brita lavada tem crescido, e a sua aplicação imitando cantaria e como revestimento tornou-se muito usual.

Uma vez que não existe nenhuma documentação técnica sobre a brita lavada, considerou-se ser de extrema relevância aprofundar o conhecimento deste produto relativamente às suas características físico-mecânicas e relacioná-las com a durabilidade.

## 1.2. Objetivos e metodologia

O objetivo inicial da presente dissertação foi avaliar os materiais e técnicas utilizadas na formulação e aplicação de argamassas na construção de edifícios na Região Autónoma da Madeira (RAM) ao longo dos séculos. Com base nessa avaliação, detetou-se a existência da brita lavada, que constitui uma tecnologia de aplicação muito específica, regional não documentada tecnicamente, e cuja aplicação tem sido crescente. O objetivo primordial da dissertação tornou-se assim contribuir para um maior conhecimento técnico desta argamassa. Para tal procedeu-se ao levantamento, junto das empresa que executam este revestimento na RAM, de especificidades, dos materiais utilizados e da formulação mais corrente. Com base nessas informações foi produzida a argamassa e realizados provetes que foram utilizados para a caracterização da brita lavada. Para análise comparativa, foram também produzidas outras argamassas de agregado grosso, em que se variou a constituição (existência ou não de pigmento, alteração do agregado) e reproduzida uma argamassa de reboco. Foi ainda caracterizada a rocha basáltica utilizada na formulação da brita lavada. Toda a caracterização foi realizada em laboratório.

### **1.3. Estrutura de trabalho**

A dissertação foi realizada em diversas etapas. A primeira etapa incidiu-se na pesquisa bibliográfica, sobre as técnicas e os materiais utilizados na construção de edifícios na RAM, desde o seu descobrimento até aos dias de hoje, com maior ênfase relativo a argamassas. A pesquisa foi fundamental na aquisição de conhecimentos indispensáveis à elaboração do capítulo 2 do Estado do Conhecimento (Enquadramento Histórico da Construção na Madeira). Na segunda etapa realizaram-se entrevistas a alguns trabalhadores da Construção Civil que aplicam regularmente argamassas, de modo a obter-se um maior conhecimento sobre alguns materiais e técnicas de elaboração. As entrevistas foram essenciais para conhecer-se melhor os traços e os materiais constituintes da argamassa de brita lavada. A terceira etapa recaiu sobre os ensaios laboratoriais a realizar à argamassa de brita lavada e a outras argamassas para comparação, assim como à pedra natural basáltica utilizada; quais as melhores condições para obter-se resultados viáveis, os equipamentos a utilizar, normas e especificações de ensaio e os materiais. Na quarta etapa efetuaram-se os respetivos ensaios laboratoriais, de cujos resultados retiraram-se várias conclusões sobre a argamassa de brita lavada e sobre a pedra basáltica utilizada.

A presente dissertação está organizada em seis capítulos:

- O primeiro capítulo – Introdução – fornece um enquadramento breve sobre o tema a ser abordado, definindo quais os objetivos, as metodologias e a estrutura da dissertação.
- No segundo capítulo – Enquadramento Histórico da Construção na Madeira – é realizada uma síntese de toda a informação consultada sobre as construções edificadas desde o início do povoamento até aos dias de hoje na RAM.
- No terceiro capítulo – Argamassas e Materiais Constituintes na RAM – apresenta-se a análise realizada às argamassas na RAM, evidenciando os materiais e as técnicas utilizadas, de entre as quais se evidenciou a brita lavada. Tem-se ainda neste capítulo informação referente a toda a bibliografia científica utilizada na caracterização da brita lavada e da pedra basáltica.
- No quarto capítulo – Campanha Experimental – é descrita, em síntese, a campanha experimental realizada, descrevendo os materiais utilizados, as formulações de cada argamassa e o plano de ensaios de caracterização da pedra basáltica e das argamassas. Apresentam-se ainda todos os procedimentos de ensaio adotados, detalhando equipamentos, materiais, procedimentos e documentos normativos ou especificações de ensaio utilizados.
- No quinto capítulo – Discussão de Resultados – é realizada a análise dos resultados individualmente e relacionando-os entre si, procurando comparar tradicional brita lavada com as restantes argamassas caracterizadas e, dentro do possível, tanto a brita lavada como a pedra com caracterização apresentada por outros autores.
- No sexto e último capítulo – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros – apresenta-se uma síntese das principais considerações e conclusões finais e ainda alguns desenvolvimentos futuros sugeridos.

## **2. Enquadramento Histórico da Construção na Região Autónoma da Madeira**

### **2.1. Enquadramento**

Em 1419 foi descoberto o arquipélago da Madeira (atualmente designado como Região Autónoma da Madeira (RAM), primeiro a Ilha de Porto Santo por João Gonçalves Zarco e posteriormente a Ilha da Madeira por Tristão Vaz Teixeira. O povoamento e desenvolvimento económico da Madeira serviram de base à afirmação dos portugueses no espaço atlântico, continental e insular. O empenho das gentes e autoridades peninsulares, aliado ao investimento e experiência continental, contribuiu para que, em pouco tempo, a densa floresta desse lugar a extensas clareiras, possibilitando a edificação de diversos edifícios e o povoamento da Ilha da Madeira (Vieira, 1989).

### **2.2. Primeiras Construções na RAM**

Desde o início do povoamento da RAM existiu a necessidade de construir abrigos que pudessem satisfazer as necessidades básicas de conforto e segurança para o Homem. Os edifícios eram construídos com os materiais mais abundantes: a madeira e a pedra. Na RAM a habitação foi acomodada à topografia local, adaptada às condições do clima, às necessidades da vida indígena e à fisionomia da paisagem. «A orografia acidentada veio condicionar a aglomeração de casas, pelo que frequentemente apareciam isoladas, contribuía para a criação de uma identidade própria» (Sousa, 1994).

Os primeiros edifícios de arquitetura civil eram realizados em tabuado de madeira e cobertos de colmo (casas de colmo ou casas de palha como eram designadas pelo povo madeirense), por certo muito semelhante às casas ainda hoje existentes em Santana. Esta habitação era confundida com o Palheiro, uma construção de madeira e colmo que servia de arrecadação e estábulo: «A casa rural confunde-se frequentemente com a arribana e o palheiro, ela própria ainda é muitas vezes coberta de uma capa de colmo. A inclinação do terreno facilita um pouco a coisa, assim é fácil estear um andarzinho para granel e arrumação e ter em baixo o abrigo da vaca e do porco» (Gomes, 1904).

Na ilha vizinha do Porto Santo, constroeu-se a típica casa de salão. Ao contrário da Ilha da Madeira, esta ilha não possuía abundância de madeira, mas tinha grande variedade de argila que era aplicada na cobertura destas construções tradicionais. Estas habitações eram feitas com materiais locais, tendo como fator importante as condições climáticas da ilha, «habitações rudimentares, térreas, pelos campos, tem apenas uma porta e duas janelas, as mais pobres, rebocadas com uma argamassa granulada, de cor suja amarelenta como a da casca de limão velho, onde poisa, na cobertura, uma espessa camada de terra de salão, argilosa, gorda» (Ferreira, 1994). O pavimento da habitação era em terra argilosa batida designada de “sôlo” - constituído por argila impermeável, socalcado e coberto com areia da praia (Mestre, 2002).

Nos sub-capítulos seguintes apresentam-se as tipologias construtivas mais representativas da RAM em cada período cronológico: séculos XV e XVI, séculos XVII a XIX, séculos XX e XXI. Como no capítulo 3 se vai detalhar com maior profundidade as argamassas e os materiais constituintes utilizadas em cada um desses períodos e tipologias construtivas, no presente capítulo as referências às argamassas serão mínimas.

### **2.3. Construções, Técnicas e Materiais dos Séculos XV e XVI**

Nos finais do séc. XV e nos meados do séc. XVI foram construídas na ilha da Madeira uma série de igrejas, capelas, edifícios de arquitetura civil e militar, que foram modificados e reabilitados nos séculos seguintes. Pode-se encontrar como exemplo de edifício de arquitetura civil, as torres-vigias das velhas construções madeirenses que serviam para avistar os navios que navegavam no Oceano, junto ao Arquipélago. Como bom exemplo de edifício militar, essencial à defesa da ilha, tem-se a Fortaleza-Palácio de São Lourenço, localizada no centro histórico da cidade do Funchal.

No século XVI as casas rurais eram pobres e primitivas, sobretudo as serranas, podendo ser generalizadas em dois tipos: Apresentando um formado de cabana, constituídas por pedra basáltica solta, sem argamassa, cobertas de colmo e tendo apenas uma porta e uma janela, idênticas às casas rurais do litoral algarvio. As outras casas são construídas por pedra basáltica, unidas com uma argamassa de terra amassada, semelhantes às habitações das regiões graníticas do Continente Português (Pereira 1989).

Na RAM, pode-se dividir as ilhas em associação a usos distintos de materiais no séc. XV e XVI:

- Na Ilha da Madeira os materiais mais usados eram a madeira e as pedras de origem vulcânica, como o basalto e o tufo. Os fatores físicos e climatéricos foram relevantes na decisão entre um ou outro tipo de material. No caso específico das freguesias de Santana, tem-se o uso exclusivo da madeira na edificação de habitações, havendo tipologias integralmente constituídas neste material, cobertas de palha ou telha (Mestre, 2002).
- A ilha do Porto Santo, sendo plana e seca, apresentando semelhanças com o Sul de Portugal Continental, utiliza materiais muito humildes como a argila e as pedras arenítica. «Os telhados em colmo característicos das casas da Madeira foram banidos do Porto Santo, pela necessidade da sua utilização na alimentação do gado» (Ferreira, 1994).

Nas construções mais pobres, a tradicional casa madeirense utilizava a terra como material de construção, sendo coberta de palha (colmo) com uma estrutura de madeira. As paredes podiam ser de madeira ou pedra, relacionando-se com um espaço exterior para cultivo ou jardim de flores. «É um tipo de casa que ainda marca a paisagem madeirense, havendo muito exemplares, principalmente no concelho de Santana e Machico, sendo que muitas já não constituem habitação» (Sousa, 2006).

As edificações madeirenses de alguma importância possuíam materiais de construção provenientes do Continente e de Espanha, como o material cerâmico aplicado nas capelas e igrejas das principais cidades. Mas alguma cerâmica era produzida na ilha e no final do séc. XV já se fabricava telha na Madeira, trabalhada segundo o processo mourisco. As primeiras indústrias de olaria que fabricavam telha eram a Olaria do Calhau e a Olaria de Santa Catarina, situadas no Concelho do Funchal (Sousa, 2000).

Logo no séc. XV, em toda a ilha da Madeira surgiram muitas marcenarias, devido à abundância de madeira e à tradição construtiva vinda do Continente. A madeira era muito utilizada na construção dos edifícios, principalmente o cedro que era a madeira preferida para os “tetos de alfarge”, por várias razões. Hoje em dia ainda é possível visualizar belíssimos tetos feitos com madeira de cedro, como na Igreja da Sé do Funchal e na capela dos Reis Magos na Calheta. Era comum empregar-se o cedro, madeira de vinhático e madeira de til nas portas, janelas e portadas. «Nos primeiros tempos, uma única porta na fachada terá sido também simultaneamente a única janela» (Mestre, 2002).

Desde muito cedo que se usa pigmentos e tintas tradicionais na Construção Civil. No séc. XV o primeiro produto a ser utilizado na RAM como tinta foi o “sangue de dragoeiro”, extraído no Porto Santo, com o objetivo de obter-se verniz e tintas. Hoje em dia «...ainda é possível comprar na venda, entre outros produtos, alguns pigmentos para misturar na cal...» (Mestre, 2002), como o “óxido de ferro ocre”, o “óxido de ferro vermelho” e o “óxido de ferro preto”. Este último é utilizado em argamassas de “brita lavada”. A cal, apesar de ser um ligante, também foi utilizada para caiar edifícios de prestígio, como igrejas e capelas. Este processo conferia alguma proteção superficial ao edifício, garantindo que a degradação da cantaria se desse de forma mais lenta, evitando a desagregação da pedra, não tanto no basalto mas mais no tufo, por esta ser uma pedra mais sensível à intempérie. «O seu emprego terá resultado da necessidade de evitar uma maior desagregação da pedra, principalmente no caso do tufo (Mestre, 2002).

Nas ilhas da RAM a maior parte da cantaria é local, podendo-se dividir em dois tipos:

- Cantarias duras ou rijas – sendo o traquibasalto a pedra mais comum e utilizada na RAM «...apresentando uma textura uniforme de granularidade fina a média de cor cinzenta mais ou menos escura» (Gomes e Silva, 1997);
- Cantarias moles – tufo de lapilli, apresentando varias tonalidades e texturas «...são de textura mais variada do que as cantarias “rijas” ou “duras” e afiguram-se com tons de vermelho, castanho, amarelo e verde» (Gomes e Silva, 1997).

No Porto Santo as habitações caracterizam-se pelo seu carácter grosseiro apresentando paredes de pedra arenítica. «Pedra branca, tenra e desagregável, fácil de cortar à faca, matéria-prima das habitações populares, extraídas de pedreiras do Campo de Baixo e das Areias, à beira-mar, mas cujo emprego não se faz senão depois de exposto ao sol em pequenos blocos, durante um ano, para encascar (torar-se rijo), oferecendo passado esse tempo, consistência quase de cimento. Volta porém a desagregar-se passado anos, embora lentamente, se não for protegido por argamassa» (Ferreira, 1994).

Na ilha da Madeira o basalto surge como pedra de construção e decoração e, devido à sua resistência e durabilidade, é utilizada para construir varios edifícios. O basalto mais comum era geralmente de cor acinzentado escuro, aplicado em forma de blocos aparelhados nas paredes das habitações e nos muros dos “poios” ou socalcos. Do basalto lamelar era possível retirar lajetas de basalto que eram aplicados em pavimentos, escadarias, calçadas, nos “terreiros” e ainda nas levadas como pedras mestras.

O tufo ou tufa de forno ou feijoca, conhecido como pedra mole, foi trabalhado na Madeira no séc. XV, por habitantes do Algarve, oriundos da Vila Real de Santo António. Esta pedra, devido às oxidações de sais de ferro, apresenta uma tonalidade avermelhada; foi usada desde o início do povoamento por se tratar de uma pedra fácil de trabalhar: era leve o que facilitava o seu transporte e tinha uma cor que dava um certo brilho até à casa mais simples. Pode-se encontrar este tipo de material em diferentes edifícios mas principalmente em templos religiosos (capelas e igrejas), como a Sé do Funchal e a Igreja Matriz de Machico. Este material, quando devidamente aparelhado, ficava à vista e era utilizado para fazer abóbodas, molduras de portas e janelas das igrejas. «É de salientar que por vezes estes elementos eram trabalhados com estilo manuelino ou formando cunhais nas casas mais pujantes» (Silva, 1995). Na Figura 2.1 pode observar-se uma porta com cantaria em tufo de um edifício localizado na “Zona Velha” no Concelho do Funchal e a respectiva designação regional das diferentes peças da moldura.



*Figura 2.1 – Diferentes partes do vão de cantaria: 1. Lumieira; 2. Mineo de cima; 3. Juntouro ou cunha; 4. Mineo de baixo*

## **2.4. Construções, Técnicas e Materiais dos Séculos XVII a XIX**

No início do séc. XVII os madeirenses começam a usar com maior frequência as argamassas para construir os seus edifícios. Apesar do fabrico da cal aérea ser uma atividade que remonta a meados do séc. XVI, esta não era acessível a qualquer pessoa. Era um recurso muito caro e tinha associado à sua exploração diversos impostos: a «Lei de 4 de Junho de 1859 estabelecia a quantia de quatro reis por tonelada de pedra calcária e de três reais por litro de cal preparada» (Ribeiro, 1992). Com o passar do tempo e com o aumento da exploração da pedra calcária nas pedreiras existentes no Ilhéu da Cal, perto de Porto Santo, as argamassas de cal aérea foram fortemente utilizadas, até por pessoas mais carenciadas, principalmente no Concelho do Funchal.

No séc. XVII começam a surgir, um pouco por toda a ilha, as casas senhoriais, as quintas e os solares madeirenses, que resultam, na sua maioria, da expansão da atividade vinícola. Estes “novos” edifícios sobreviveram até os dias de hoje graças aos materiais utilizados, como as argamassas de revestimento à base de cal aérea. «A palavra quinta tem entre nós uma significação especial, que notavelmente a distingue do sentido em que em geral é tomada no resto do nosso país. Este termo, na Madeira, costuma designar uma propriedade rústica e urbana, de maior ou menor extensão, murada em todo o seu perímetro ou ao menos numa parte considerável dele, contendo sempre uma boa casa de habitação, rodeada de jardins e passeios assombrados com maciços de árvores» (Silva e Menezes, 1921).

No Porto Santo, no séc. XVII sugeriram os moinhos de vento. Os porto-santenses, vivendo numa terra com poucas árvores e com pouca chuva, viram-se obrigados a recorrer a outro recurso natural para produzir os seus alimentos. O moinho tinha a base principal em pedra de cor clara, assente com argamassa de argila ou argamassa de cal aérea, inserindo-se bem na paisagem. As escadas de acesso ao moinho faziam-se em pedra ou em madeira, que depois eram pintadas com breu, substância negra derivada do petróleo, a fim de garantir a proteção e a impermeabilização face à ação do tempo.

A construção dos edifícios na RAM só foi possível devido à construção de fornos para cozer a cal. No séc. XVIII foram edificados vários fornos para cozer a cal aérea proveniente do Porto Santo. Os fornos existentes apresentavam um aspeto robusto, remetendo para a imagem de uma fortaleza: «Os fornos foram construídos em alvenaria com paredes de grande espessura e, interiormente desenvolvem uma configuração de cone invertido, realizado através de um rigoroso aparelho de pedra» (Mestre, 2002).



Surgem ainda novas fortificações por toda a região, devido ao facto da RAM ser situado perto da costa africana. A Madeira foi durante algum tempo presa fácil de pilhagens e destruições levadas a cabo por piratas e corsários, facto que obrigou à edificação estratégica de vários fortes e fortalezas para defesa da Ilha. Na Figura 2.2 observa-se um forte erguido no Concelho de Machico em 1706.



Figura 2.2 – Forte de Nossa Senhora do Amparo: fachada principal (esq.), portão de armas (centro) e fachada virada para o mar (dir.)

Nas Freguesias do Concelho de Machico foram edificados inúmeros edifícios de arquitetura religiosa, bem como estruturas que protegiam estes edifícios, como o Muro da Ribeira de Machico, erguido no séc. XVIII para proteger os alicerces da Igreja Matriz de Machico das águas da ribeira. «O registo das férias pagas aos oficiais envolvidos na obra e as contas dos materiais empregues dão conta que a mesma se realizou entre 31 de Maio e 23 de Junho de 1719, envolvendo boieiros para tirar pedra e areia da ribeira e do mar, com o respetivo transporte, serradores, pedreiros e serventes. Determinava-se, assim que a igreja fosse “chispada e rebocada pela parte da serra”, que a torre fosse “soalhada e sobre o soalho argamassa com tijolo”, “corpo da igreja por fora e por dentro pincelada e rebocada”» (Sousa, 2000).

As casas populares e os palheiros de pedra e colmo, com o surgimento da cal aérea, passam a ser rebocados e caiados. Com o passar do tempo o colmo deixa de ser utilizado, passando a casa comum a ser coberta por telha sobre estrutura de madeira, caiada de branco, com soco e molduras vermelhas ou cinzentas e com quintais calcetados com calhau rolado e a típica parreira de vinha.

Com o surgimento da cal aérea, foi também possível garantir uma melhor qualidade de construção das levadas, originando assim novos percursos de água, possibilitando também maiores caudais que alimentavam em certos concelhos os engenhos de cana-de-açúcar que produziam o chamado “ouro branco” (açúcar). Para produzir este produto foi necessário construir vários engenhos e fábricas que, através da água trazida pelas levadas, fabricavam vários derivados da cana-de-açúcar. Na cidade de Machico foi construído um aqueduto para transportar a água das levadas para um engenho. O Aqueduto do Engenho foi construído no séc. XVII, com pedra basáltica e argamassa de assentamento à base de cal aérea, sendo os arcos do aqueduto elegantemente rematados com cantaria vermelha regional. As levadas, além de servirem os engenhos, alimentavam os moinhos de água. Muitos destes moinhos foram edificados durante o séc. XVII. A população utilizava a força motriz gerada pela água para moer os cereais, como o trigo, milho, cevada e centeio, que eram cultivados na região (Sousa, 2000).

Outro tipo de construção que se desenvolveu em grande escala foram os cais e os portos de abrigo, que passaram a ser frequentes depois da exploração da cal no Porto Santo. Perto do Forte São João Baptista, no Concelho do Porto do Moniz, pode-se observar o porto que, no séc. XIX, era considerado por muitos o melhor porto do Norte da ilha madeirense.

Na RAM tem-se o uso da pedra vulcânica para elevar as paredes estruturais das habitações. Pode-se notar neste período a crescente utilização do basalto e do tufo em paredes de alvenaria e em cantaria, que guarneciam as portas e as janelas. «As molduras das janelas e portas são de pedra vermelha, ou tufo, à mistura com cantarias escuras» (Ramos, 1879). No Porto Santo são abundantes os tufos de cor amarelada, aplicados nas habitações e nos muros de arrumação para suportar as terras. As paredes na sua maioria eram construídas em pedra aparelhada solta, sendo revestida apenas pelo interior.

Com a evolução das técnicas construtivas, nas edificações, as paredes interiores passaram a ser construídas em tabique (Figura 2.3), erguidas com estrutura ligeira de madeira ou “caniço”, com núcleo interior preenchido com escórias vulcânicas, aparas de madeira e outros materiais de origem vegetal e revestidas com argamassas de cal.



*Figura 2.3 – Pormenores de edifício na Barreirinha, Concelho do Funchal: vão de porta interior (esq.), paredes interiores em tabique (dir.), tabiques preenchidos com aparas de madeira (centro)*

No início do séc. XVIII, com o aumento da riqueza na região, devido à produção vinícola, passou-se a utilizar janelas com vidraça, que vem substituir o típico buraco existente nas janelas e nas portas das habitações. «Não continham vidro, mas sim portadas com postigos e/ou com pequenos vazios redondos ou quadrados, por onde se efetuava o arejamento contínuo e por onde se passava uma réstia de luz» (Mestre, 2002). Nos meados do séc. XVIII a madeira ganha uma nova importância, sendo utilizada em “tapa-sóis”, elementos utilizados na parte externa das janelas e portas para reduzir a entrada de calor e iluminação na habitação, que começam a ser frequentes em toda a ilha.

«Em meados do séc. XIX, surge a casa complexa com cobertura de telha, com um telhado de quatro águas, e que se apresenta quase sempre com dois pisos, com um aspeto de “casarão” quadrangular» (Sousa, 2003). Para o revestimento da cobertura emprega-se a telha de meia-cana, ou mourisca, de barro vermelho, com beirais de duas ordens de telha “beiral duplo”. Este beiral é caracteristicamente português, em que a parte côncava inferior era preenchida com reboco de cal aérea e caiado de branco.

Nas edificações o basalto utilizado como cantaria é aquele que apresenta um grão muito fino, conhecido na ilha como “pedra feijoca”; é aplicado nas ombreiras das janelas e das portas e nos arcos das pontes

que se erguiam sobre as ribeiras. Era proveniente, maioritariamente do Concelho de Câmara de Lobos, mais propriamente das pedreiras localizadas na falésia do Cabo Girão e na Freguesia do Estreito de Câmara de Lobos. Neste Concelho existiam os melhores canteiros da Ilha, que produziram muitas das pedras da Igreja da Sé do Funchal.

Tem-se a utilização de tufo, “cantaria de forno ou pedra de fogo”, de cor vermelho-acastanhada utilizada para fabricar os fornos de cozer pão e aplicada em fogareiros de aquecer ferros de engomar. «A cor da rocha é predominantemente avermelhada, com jogos de amarelo e castanho-cinza. A cantaria “mole”, tufo vulcânicos, é utilizada essencialmente na construção de fornos, fornalhas e lareiras, fontenários e nichos, bem como no revestimento» (Ferrão, 2001). No séc. XIX, as melhores pedreiras deste tipo de cantaria eram provenientes do Concelho de Santa Cruz, mais propriamente da Freguesia do Caniço e do Concelho de Machico, na Freguesia do Caniçal. «Os irmãos Bacanhi eram uma família de especialistas e homens esmerados a talhar cantaria mole. A sua especialidade eram os fornos de padaria» (Ribeiro, 2001). Na Freguesia do Caniçal, das pedreiras recortavam-se blocos de pedra que não fendem a altas temperaturas, ideais para a construção dos fornos característicos das casas madeirenses.

Com a exploração da cal na RAM, a técnica de caiar as habitações diversifica-se, sendo possível requintar e personalizar as habitações ao gosto de cada habitante. Eram introduzidos na cal pigmentos que serviam para destacar os edifícios mais nobres dos mais pobres. A cor era aplicada nas construções, surgindo como um complemento valorativo, utilizada como sinónimo de grandeza, sendo as cores mais utilizadas o amarelo ocre e o rosa escuro. O rosa escuro e os socos vermelhos e cinza eram muitas vezes aplicados em casas nobres, quintas e em solares, mas não exclusivamente; o amarelo ocre era a cor mais utilizada em fortes e fortalezas.

A preparação correta da caiação resultava na utilização de cal viva, depositando-a num recipiente (bidão) até hidratar (“ferver”, apagar, extinguir), finalizando com a junção de sebo animal ou de seiva de tabaibeira. O sebo ou a seiva de tabaibeira misturavam-se com a cal durante a sua hidratação e funcionavam como seu fixador e impermeabilizante. Para obter-se uma caiação com cor, adicionava-se à mistura a pigmentação. «A introdução do pigmento é cuidadosamente feita através de várias experimentações, tendo por medida um litro de cal e uma gramagem controlada de pó. Esta tinta de cal era aplicada tanto no interior como no exterior dos edifícios, bem como aplicada em madeira» (Mestre, 2002). As cores resultavam na adição de pigmentos naturais adicionados à cal, de origem vegetal, mineral e animal, transformados muitas das vezes em pós de diversas cores. Estes corantes naturais tiveram o seu apogeu durante os séculos XVII, XVIII e XIX, sendo depois substituídos por pigmentos de origem química.

A caiação começa a ter outras novas funcionalidades; além das descritas anteriormente, evitam o aparecimento e crescimento de vegetação parasitária nas paredes dos edifícios, evidenciando uma fusão entre funcional e decorativo.

Para o interior dos edifícios, além da técnica de caiação, existia a aplicação de uma espécie de estuque. «No entanto para o interior podíamos usar uma espécie de estuque, que era uma tinta-cola, composta por gelatina extraída do couro de animais que era derretida em água quente, depois era adicionado o “gesso crê” e por fim o pigmento. Podemos observar esta técnica aplicada, por exemplo, no teto de alfarge do coro alto do Convento de Santa Clara, no Funchal» (Mestre, 2002).

No Porto Santo, no século XVIII, recorria-se à pintura como um processo tradicional utilizando matéria-prima da região. Fazia-se tinta para aplicar nas paredes, utilizando terra escura e cal virgem e até tinta para pintar madeira, usando argila diluída em petróleo. O Porto Santo era famoso por conter vários veios, que produziam diversas cores como o roxo, o amarelo e cor de chumbo (Mestre, 2002).

## **2.5. Construções, Técnicas e Materiais a Partir do Século XX**

A água, desde sempre, teve um papel fundamental na vida de todos os madeirenses, utilizada para saciar a sede dos animais e regar os “poios” cultivados. No séc. XX, com a melhoria de algumas levadas, através da aplicação de argamassas à base de cimento, a água passa também a ser usada como fonte de energia. Por toda a ilha foram edificados vários Moinhos de Água. Estes moinhos eram autênticas fábricas artesanais de moagem de trigo, existentes nos concelhos de Santa Cruz, Calheta, Ponta do Sol, Machico e Câmara de Lobos. Eram normalmente edifícios simples de planta retangular, de um ou dois pisos, construídos em alvenaria de pedra basáltica e argamassa à base de cal ou de cimento. O telhado, na sua maioria, era de duas águas em telha marselha ou “telha de cimento” pigmentada. Durante os princípios do séc. XX estas “fábricas” foram fundamentais na atividade de farinhação, que por sua vez garantia o sustento de muitos madeirenses. Durante o séc. XX foram erguidas várias Centrais Hidroelétricas que utilizavam a água transportada pelas levadas para produzir energia elétrica. No Concelho do Porto do Moniz foram construídas as principais Centrais Hidroelétricas da RAM.

A indústria da cana-de-açúcar neste período era bastante presente na RAM. A produção de cana-de-açúcar teve um grande crescimento no início do séc. XX, principalmente nos Concelhos de Machico, Calheta e São Vicente, que ostentavam terras férteis e produziam imensa cana-de-açúcar. Face a este acontecimento foram edificados vários engenhos de cana-de-açúcar, onde a cana-de-açúcar era transformada em açúcar e outros derivados. Muitos destes engenhos eram construídos em alvenaria de pedra basáltica e argamassa à base de cal ou cimento.

Através das diferentes nascentes na ilha edificaram-se os chamados Fontanários, que aproveitavam as águas das nascentes e saciavam a sede da população. No Concelho de Machico ainda hoje é possível observar-se vários Fontanários, muitos deles ainda em bom estado, como é o caso do Fontanário do Santo, localizado na freguesia do Santo da Serra, que “matava” a sede a muitas pessoas que se dirigiam às serras para obter lenha. Estes fontanários foram construídos em cantaria regional (vermelha e/ou cinzenta), em argamassa de cimento ou cal e pintados de branco com socos cinzentos.

As casas madeirenses do séc. XX tinham algumas semelhanças com as casas edificadas nos séculos anteriores; de um ou dois pisos, cobertas de telha, com beirais caiados de vermelho vivo e tapa-sóis de madeira pintadas de verde (Figura 2.4). Um dos aspetos que fazem distinção entre as casas dos séculos anteriores e as do séc. XX é o aumento da quantidade de vãos. Além de tornarem-se mais frequentes, as suas dimensões também aumentaram, principalmente nas portas, que passaram a ser mais altas e mais largas. Relativamente às chaminés passaram a ser construídas com argamassa de cimento em alvenaria de pedra, tornando-se mais altas e esbeltas do que as anteriores. Era possível visualizar este tipo de edifícios um pouco por toda a ilha, principalmente na freguesia do Monte no Concelho do Funchal. Nos Concelhos mais a Sul, como por exemplo Machico e Santa Cruz, estas casas, além de conterem algumas destas características apontadas anteriormente, eram simétricas, apresentando na fachada principal (a Sul) um corredor com vinha que, para além de dar as uvas, servia para proteger a casa dos raios solares.



*Figura 2.4 – Edifícios na Zona da Barreirinha, no Concelho do Funchal (esq.), pormenor do tapa-sol de madeira visto pelo interior (dir.), pormenor do tapa-sol de madeira visto pelo exterior (centro)*

Nesta época surgem os mercados e as praças nas diferentes freguesias e nos diferentes concelhos. Estes eram os “Supermercados da época”, onde se podia encontrar um pouco de tudo. Construíam-se, na sua maioria, em alvenaria de pedra, eram rebocados com argamassa de cal, continham molduras pintadas ou em cantaria rija, apresentavam uma cobertura de quatro águas em telha de meia cana ou de “cimento pintado” com beirais simples e eram calcetados com o tradicional calhau rolado.

Durante este período tem-se a construção de vários hotéis que serviam para hospedar vários ilustres visitantes, que vinham para a Madeira, muitas das vezes para curar doenças pulmonares, uma vez que esta terra com vegetação luxuriante e com um clima ameno era considerada benéfica para a saúde. Nasce assim um novo ciclo económico – o ciclo do turismo. Estes hotéis foram edificadas um pouco por toda ilha, com maior incidência no Concelho do Funchal.

Associado ao turismo nasceram outras construções de apoio a esta nova indústria como por exemplo os diversos cais, desembarcadouros e portos de abrigo que garantiam aos cruzeiros turísticos uma atracagem segura, como por exemplo o Porto do Funchal. Outros foram construídos graças à indústria da cana sacarina como nos Concelhos de Machico, Calheta e Ponta do Sol. Relacionados com a Construção Civil tem-se no Concelho de Santa Cruz um porto que servia para escoar muitos dos agregados utilizados nas várias obras da RAM. A descoberta e aplicação de argamassas hidráulicas no arquipélago permitiu a evolução deste tipo de infraestruturas.

Neste período foram ainda construídos alguns edifícios de arquitetura religiosa como capelas e igrejas. As capelas edificadas neste período eram compostas por estrutura de betão e alvenaria de pedra, rebocadas com argamassa de cimento, pintadas de branco com soco e cimalha pintados de cinza, sendo empregue cantaria regional cinzenta, nas cruces e nos pórticos, como por exemplo na Capela dos Cardais, situada na freguesia de Água de Pena.

No início do séc. XX dá-se o surgimento dos Chalés (Figura 2.5), edifícios utilizados para habitação, constituídos por alvenaria de pedra, rebocada com argamassa de cal e caiados com diversas cores. A título de exemplo tem-se dois edifícios desta tipologia no centro do Concelho de Machico, precisamente na Rua da Estacada e perto da Capela de São Roque. «Não abunda na ilha esta tipologia de construção de influência romântica, que se divulgou no nosso país nos finais do séc. XIX e princípios do seguinte, especialmente nas zonas do Estoril, Cascais, Sintra e Granja» (Sousa, 2005).





Figura 2.5 – Chalés localizadas no Concelho de Machico: na Rua da Estacada (esq.), perto da Capela de São Roque (dir.).

Durante este período estavam em funcionamento algumas fábricas de olaria que produziam telhas e tijolos utilizadas nas obras da RAM. No Porto Santo as fábricas de olaria existentes funcionaram até 1970, fabricando telhas, infusas, púcaras, alguidares e ressalgas. «O Porto Santo produziu telhas e tijolos afamados, empregados em fortificações, de cujo fabrico e matéria-prima local ficaram indícios: tijolos que se encontram à mistura com soltas de assumo nos muros de vedação do antigo reduto ou castelo do Pico, ao cimo do Pico do Castelo» (Mestre, 2002).

A utilização de argamassas de reboco e assentamento com base em cimento surgiu em força nos anos 40 no séc. XX. Devido a esse facto apareceram novos materiais de alvenaria, como o bloco de cimento. Os blocos de betão apareceram como uma alternativa às pedras de alvenaria; estes eram mais leves, o que facilitava o seu transporte, eram mais baratos pois fazer uma casa com 2 pisos era significativamente mais caro com pedra do que com blocos de betão e a sua aplicação em obra era bem mais simples. Os blocos de betão eram inicialmente constituídos por areia fluvial ou marítima, consoante o que existia nas redondezas, e por cimento Portland.

Assim, genericamente, no séc. XX, com os novos materiais, o madeirense abandonou a pedra que antigamente utilizava na constituição das suas paredes de alvenaria e adotou o bloco de cimento. Este permitia edificar edifícios mais altos sem comprometer a estabilidade e a segurança do edifício e possibilitava a construção de paredes mais esbeltas. O Mestre Pedreiro Manuel Alves informa que em Machico fabricavam-se blocos de betão: *“Os fabricantes de blocos de Machico iam buscar a areia na ribeira, perto do mar e o cimento iam ao porto do Funchal buscar. Em Machico havia um sítio onde se fazia blocos; quando a gente queria fazer uma casa encomendávamos os blocos com uma certa antecedência. Na altura era um negócio que rendia muito dinheiro; quando a construção era muita os construtores faziam fila para comprar blocos; já ninguém queria saber da pedra, esta só servia para encher buracos das fundações”*. Muitos trabalhadores e inclusive o Mestre Pedreiro Manuel Alves utilizavam as pedras nas muralhas em fundações dos edifícios: *“Nós usávamos as pedras juntamente com a massa grossa e o ferro dentro da muralha e nas fundações das habitações. Quando a máquina escavava o terreno da obra e encontrava pedras grandes, a gente partia a pedra com o fogo. Acendíamos uma fogueira à volta da pedra, durante toda a noite, para esta cozer e de manhã deitávamos água para ela estalar e partir. As pedras partidas usávamos como agregado nas muralhas que aguentavam os terrenos”* (recolhido por entrevista oral).

Nos anos 80 o Mestre Pedreiro Manuel Alves edificou 3 casas feitas com blocos de betão em Machico. Este material veio possibilitar novas tipologias de construção que em outros tempos seria mais difícil de conseguir, permitindo ainda que famílias com baixo rendimento conseguissem construir casas com uma certa qualidade. *“Em 1979-80 construí a maior casa em Machico com 3 pisos. A segunda casa que fiz nesta altura em Machico foi a minha, que acabei de edificar por volta 1985-86. A terceira casa que construí foi a de minha irmã Rosa acabada em 1988-89”* (recolhido por entrevista oral).

No final do séc. XX e estendendo-se ao séc. XXI deu-se uma grande expansão no sector da Construção Civil na Madeira. Este crescimento foi constante e possibilitou a construção de vários edifícios, sendo utilizados vários tipos de materiais. Deu-se um maior ênfase à construção nova de edifícios, esquecendo um pouco a reabilitação: *“na época das vacas gordas ninguém queria saber de casas velhas; deitava-se abaixo e fazia-se novo”* (recolhido por entrevista oral). Durante aproximadamente trinta anos a construção nova foi bastante frequente na RAM, devido ao ciclo de grande prosperidade da região, onde se aplicaram os fundos comunitários recebidos num conjunto de grandes obras públicas: *“quando acordávamos de manhã não ouvíamos cantar o galo; o som era abafado pelo som das máquinas a furar rocha. Olhava-se pela janela e via-se o vale de Machico cheio de guas amarelas por todo o lado; eram as novas árvores da cidade”* (recolhido por entrevista oral).

Em todos os concelhos foram realizadas várias construções, desde os anos 80 até os dias de hoje, como a ampliação da pista do aeroporto, novas “vias rápidas”, túneis, pontes, centros cívicos, heliportos, fóruns, escolas, campos de futebol, centros de saúde, parques empresariais, piscinas, marinas, museus, campos de golfe, praias artificiais, bairros sociais e outras infraestruturas sociais, culturais e desportivas. Para além das obras públicas também se construíram diversas obras privadas, principalmente relacionadas com o turismo, como os hotéis, as pousadas, as residenciais e outros ligados à restauração. Durante este período (cerca de 30 anos) *“estima-se que foram edificadas na RAM mais de 5000 obras públicas e privadas com um custo aproximado de 6.3 mil milhões de euros”* (recolhido por entrevista oral).

No ano 2012 notou-se uma redução no sector da Construção Civil na edificação de habitações, mediante a situação económica em que a RAM (e todo o país) se encontrava. Em 2015 verificou-se que a manutenção de muitos edifícios ao longo dos últimos anos tem sido deficiente e quase inexistente; muitas das construções apresentavam graves problemas nos rebocos e em algumas cantarias. Nesse ano surgiram, um pouco por toda a ilha, projetos de reabilitação de edifícios como, por exemplo no Concelho da Calheta, a reabilitação de uma casa tradicional madeirense, de um antigo armazém e de uma antiga manteigueira, apoiado pelo Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural, FEADER, através do Programa de Desenvolvimento Rural para a Região autónoma da Madeira, PRODERAM.

Apesar da inovação nas técnicas e nos materiais da construção, havia quem tentasse conjugar o antigo com o novo. Na casa do Mestre Pedreiro Marco Alves visualiza-se um combinado entre o novo e o antigo. Ao chegar à sua propriedade pode-se admirar um muro de pedra antiga com acabamento superior na típica “brita lavada” (Figura 2.6), que se vai detalhar na secção 3.4. O Mestre Pedreiro Marco Alves explica um pouco como sucedeu esta construção: *“A pedra que tenho no muro da minha casa foi um achado. Estava a demolir uma casa antiga e o dono não queria saber da pedra e eu fiquei com ela. Passadas três semanas já tinha o muro pronto, com brita lavada na parte de cima do muro”* (recolhido por entrevista oral).



*Figura 2.6 – Muro de pedra à vista na habitação do Mestre Pedreiro Marco Alves, no Concelho de Machico (esq.); capeamento em brita lavada (centro) e pormenor da esquina em brita lavada (dir.).*

As pedras de tufo, ao contrário das pedras basálticas, eram menos frequentes. A título de exemplo tinha-se, em Machico, no sítio do Serrado do Gato, um terreno coberto com este tipo de material. Aparentemente este sítio era único em toda a cidade. Nos anos 90 este terreno foi adquirido pelo Sr. Filipe, mais conhecido como Filipe dos Caixões. Foi nesta altura que o Sr. Filipe adjudicou o trabalho de edificar uma casa neste local ao Mestre Pedreiro Manuel Alves. Este terreno, além de ser de difícil acesso, era um local onde ninguém pensava que seria possível fazer uma casa. Quando foi decidido efetuar a obra, muito deste tufo foi partido com um martelo elétrico, tarefa que foi levada a cabo pelo Mestre Pedreiro Manuel Alves. *“Os tufos eram mais fáceis de partir, e também eram mais leves. De martelo elétrico era fácil arrancar bons pedaços daquele material. A maior parte das fundações foram feitas com martelo elétrico; removemos tufo, durante três meses. Lembro-me como se fosse hoje: escavámos com o martelo elétrico cerca de três metros e meio de profundidade, numa área de vinte e tal metros de comprimento por dois metros de largo, de modo a conseguirmos fazer a maldita muralha. Depois de muitos dias a partir pedra de martelo elétrico lá conseguimos meter uma maquineta que teve alguma dificuldade a partir a pedra. Por fim lá consegui meter uma máquina maior, uma C30, que ajudou a remover o resto do tufo. O tufo escavado foi usado para fazer paredes à vista. Usava-se o mesmo método utilizado nas outras paredes de pedra basáltica”* (recolhido por entrevista oral). *Era bastante comum, em certos pontos da ilha, usar a pedra mole para revestir as paredes das casas.*



### **3. Argamassas e Materiais Constituintes na RAM**

#### **3.1. Enquadramento**

Nos sub-capítulos seguintes apresentam-se as características das argamassas que foram aplicadas na RAM, agrupadas nos séculos XV e XVI, XVII a XIX e a partir do século XX. Apresenta-se ainda uma síntese de estudos realizados sobre este tipo de argamassas e de pedras utilizadas na construção.

#### **3.2. Argamassas Vernaculares nos Séculos XV e XVI**

As primeiras argamassas a serem utilizadas na Madeira foram as de terra argilosa, que serviam para construir as paredes de alvenaria de pedra basáltica. As argamassas argilosas eram usadas para assentamento das pedras e também aplicadas como revestimento, misturadas ou não com areia, consoante o teor de areia já existente na terra. Este tipo de argamassa não era muito eficiente face ao clima da RAM; em períodos chuvosos, as paredes eram lavadas perdendo grande parte deste material.

As argamassas aplicadas nas igrejas e capelas, bem como em outros edifícios, eram geralmente um produto que resultava numa mistura de cal aérea e agregados finos como areia de furna ou areia da ribeira, com água, dependendo das características finais que se pretendia – caso fosse uma argamassa de assentamento ou argamassa de revestimento. As argamassas de revestimento consumiam muita cal, tornando-se caras para o poder de compra vigente, sendo apenas utilizada por pessoas abastadas.

Eram muitos os sítios que, na RAM, continham depósitos argilosos: «Achada do Barro, Barreiros, Lameiros» (Ferreira, 2003). A terra argilosa amassada com água funcionava como uma “argamassa”, que era utilizada na Construção para consolidar e aumentar a espessura das paredes de pedra e usada para produzir telhas. «As argilas constituem uma massa formada de grande variedade de produtos terrosos, provenientes da decomposição de silicatos alumínicos das rochas, especialmente das traquites. As mais antigas, endurecidas, contendo hidróxidos férricos e carbonatos» (Silva e Meneses, 1921).

Na ilha do Porto Santo podiam-se encontrar as maiores variedades de argilas (barro) como o salão, uma argila pardacenta de grande aderência, constituída por materiais vulcânicos decompostos, podendo ser encontrado na região central da ilha. Existia em grandes quantidades e tinha diferentes aplicações: nas coberturas, em argamassas pobres no assentamento de alvenaria de pedra e como reboco. Como efeito sabe-se que é uma argila bentonítica ou montmorilonítica, geralmente caracterizada por ser bastante expansiva. As coberturas de salão tinham três grandes benefícios: no verão, quando o material estava seco, abria fendas, permitindo refrescar a habitação; no Inverno com as primeiras chuvas o material expandia e tornava-se estanque à água; para além disso respondiam às condições económicas do povo.

Desde o início do séc. XV, a cal aérea teve um papel fundamental na construção de edifícios de maior relevância. Esta inicialmente vinha do Continente Português, mas no séc. XVI começou-se a produzir na RAM. Com o seu surgimento, as argamassas de terra argilosa mais conhecidas como “barro da terra”, foram substituídas por uma argamassa mais resistente. As casas de salão passam a ter na sua constituição uma argamassa à base de cal aérea e areia amarela, apresentando uma característica granular visível a olho nu. Com o aparecimento da cal aérea, proveniente da Ilha Porto Santo, as construções madeirenses evoluem, passando da casa simples para uma casa mais asseada.

Existem registos de edifícios que foram rebocados com argamassa de cal aérea como a Câmara e o Paço dos Tabeleães no Concelho do Funchal. «Foi rebocado por Fernão Gomes, que era um pedreiro natural de Setúbal» (Aragão 1979). A igreja da Sé do Funchal que, «em 1500 recebia cal aérea do Porto Santo, que era usada para rebocar as paredes de pedra basáltica» (Aragão 1979). Em Machico pode-se encontrar vestígios de revestimento em argamassas de cal, na Igreja Matriz. Trata-se de uma igreja de alvenaria de pedra rebocada com argamassa de cal aérea que vinha do Porto Santo e era cozida num dos fornos de cal do Concelho de Machico: «acrescendo ainda da obra o custo de cozer o forno da cal, e onde se incluiu o transporte da pedra de cal desde o mar até ao forno, bem como as despesas com a lenha e rama e com a mão-de-obra que manteve o forno, dia e noite, durante oito dias» (Cristóvão, 1981).

A areia das ribeiras com a cal aérea originava uma argamassa a ser utilizada como assentamento e revestimento exterior das alvenarias dos edifícios. A cal misturada com a areia de fuma era utilizada para realizar rebocos mais finos a serem aplicados no interior dos edifícios. Os agregados utilizados na construção civil eram, na sua maioria, areias provenientes de diferentes zonas:

- Areia das ribeiras, como a Ribeira do Porto do Moniz e de Machico, que forneciam areia para a construção das igrejas de cada concelho;
- Areia da fuma, que são formadas a partir de cinzas vulcânicas, localizadas em camadas, dentro de grandes depósitos côncavos naturais, em tufos. São composta por augite, oxidações de ferro, aragonite e cinzas diversas. (Mestre, 2002).

Na Figura 3.1 podem-se observar agregados localizados na foz da ribeira de Machico.



*Figura 3.1 – Areia da ribeira com diferentes granulometrias*

### **3.3. Argamassas Vernaculares nos Séculos XVII a XIX**

A partir do séc. XVII em construções mais humildes continuou a ser frequente o uso de argila avermelhada como aglutinante de argamassas a aplicar em alvenarias de pedra. Tal como referido anteriormente, este ligante começou a cair em desuso após a exploração da cal, pelo simples facto de apresentar características construtivas inferiores.

Na ilha da Madeira, mais propriamente no Concelho de São Vicente, no séc. XVII, dá-se a exploração da cal. Esta era usada como ligante em argamassas que ajudaram a construir muitos edifícios na região. «Em termos geológicos a freguesia de S. Vicente apresentava uma particularidade em relação às demais, isto é, uma intercalação calcária marinha, que só tem caso parecido nas ilhas de Santa Maria e

Porto Santo» (Vieira, 1997). O filão encontrado em São Vicente foi bastante importante na construção das diversas defesas espalhadas pela Ilha. «O filão calcário foi de grande importância no decurso dos séculos XVIII e XIX. As necessidades de cal para a construção, evidenciada com o delineamento, a partir de meados do séc. XVI, de uma linha de defesa, composta por diversas fortalezas e uma cortina de muralhas, tornam necessária a valorização das pedreiras da RAM» (Vieira, 1997).

No séc. XVII, a maior parte dos edifícios de arquitetura religiosa foram rebocados com argamassas de cal aérea e areia de furna, servindo de revestimento exterior e interior. Por exemplo a Capela de Nossa Senhora da Encarnação «Trata-se de um edifício bem acabado de paredes de pedra e cal, com cantaria fina» (Ribeiro, 1992). Tanto o reboco exterior como o interior serviam para regularizar e oferecer um acabamento estético às paredes de alvenaria.

As argamassas mais frequentes no Porto Santo eram de tom amarelado escuro ou claro, constituídas por agregados de origem calcária e cal aérea. As argamassas mais frequentes na Madeira eram de um tom cinza, claro ou escuro, constituídas por cal aérea e basalto e/ou calcário. Estas diferenças estavam relacionadas com os agregados utilizados na constituição das argamassas, diferentes nas duas ilhas.

No séc. XIX muitos dos edifícios, principalmente edifícios nobres, começaram a utilizar o gesso como o segundo ligante em argamassas utilizadas nas paredes interiores das habitações. Os edifícios modernos de arquitetura religiosa eram feitos com paredes de alvenaria de pedra e, após a aplicação do reboco interior, era aplicada uma camada fina de estuque de gesso como acabamento.

Na RAM os materiais mais utilizados nas argamassas eram a cal como ligante e as areias como agregado; usava-se areia das ribeiras, areia do monte, resultante da trituração dos aglomerados de cinzas vulcânicas, areia da furna, areia argilosa e areia marítima, extraída geralmente perto da foz das ribeiras, onde era comum encontrar-se grandes depósitos de areia.

### **3.4. Argamassas Tradicionais a Partir do Século XX**

No séc. XX, na Ilha da Madeira, pelo menos em quatro concelhos cozia-se a pedra calcária que vinha do Porto Santo; estes Concelhos eram Machico, Funchal, Santa Cruz e Câmara de Lobos. O forno de Câmara de Lobos, situado no Sítio da Trincheira, chegou até aos dias de hoje. Foi edificado em 1874 e desativado nos anos 70; isto aconteceu devido à substituição da utilização da cal pelo cimento Portland nas argamassas madeirenses e devido às várias reclamações da população, pelo fumo e odor. Quanto ao processo de obtenção de cal, este era composto por várias operações devidamente hierarquizadas, que se podem resumir em cinco fases:

- Em primeiro lugar coloca-se a pedra calcária intercalada com o cavão mineral; depois acende-se o fogo e deixa-se “cozer” a pedra durante dois dias.
- Depois retira-se a pedra cozida para uma zona coberta onde esta irá “derregar”.
- Deita-se água fria em cima da pedra de cal para que esta inche e estale, originando a cal em pó.
- Por fim “ciranda-se” a pedra de modo a separar-se os detritos da cal e deixa-se secar. No final de todos estes processos a cal está pronta ser comercializada. «Após algum tempo em que o pó resultante fica em secagem, é ensacada para ser comercializada» (Mestre, 2002).

Em meados do séc. XX notava-se uma diminuição na produção da cal. «Em meados dos anos 60, um empresário local procurou reativar esta indústria com a abertura de uma estrada, o uso de maquinaria e a

construção de um forno próximo à foz da ribeira de São Vicente, mas, ao fim de uma década, a empresa fechou por causa da concorrência da cal do Porto Santo, do cimento e dos produtos químicos ou ainda por causa da reduzida dimensão do filão» (Mestre, 2002).

A entrada do cimento Portland na RAM marca um novo ciclo na construção civil. A aplicação de cal aérea em argamassas tinha vindo a ser utilizada na RAM desde o início do séc. XVII, mas em meados do séc. XX o cimento Portland assume-se como o protagonista na constituição das argamassas madeirenses. Na RAM pode-se afirmar que as argamassas de cal aérea e areia foram maioritariamente utilizadas até os anos 40 do século XX, sendo então substituídas aos poucos pelas argamassas de cimento e areia.

Através da entrada do cimento Portland na RAM foi possível realizar novas argamassas. Com a evolução do turismo e a necessidade de construir edifícios com maior rapidez, o cimento Portland foi o ligante favorito dos construtores. Este ligante permitia realizar argamassas que ganhavam pressa rapidamente e garantiam maior resistência em poucos dias. Face à pressão no cumprimento dos prazos de obra, o pedreiro passou a utilizar unicamente este ligante nas argamassas, abandonando o uso da cal. Em conversa com alguns trabalhadores da época sabe-se que em muitas das argamassas era comum variar-se a quantidade de cimento: *“em alguns casos deitava-se muito cimento quando queríamos fazer uma massa forte” (por informação oral)*. Isto fazia com que muitas das argamassas obtidas fossem muito rígidas e apresentassem grande resistência mecânica; dessa forma, quando eram aplicadas como reboco fissuravam. A opção de utilizar o cimento como único ligante e em elevadas quantidades no fabrico de argamassas fazia também com que o reboco apresentasse uma maior retração.

O cimento Portland servia para todo o tipo de argamassas. Em muitos casos, e principalmente entre os anos 60 e 80, existiam trabalhadores que utilizavam algumas argamassas bastardas para o revestimento de paredes. O Mestre Pedreiro Manuel Alves utilizou algumas destas argamassas e explicou algumas técnicas de preparação e aplicação de argamassas bastardas da altura. *“Depois de termos a casa toda em pé e fechada víamos mais ou menos quantas massas era preciso para vestir as paredes interiores. Por exemplo nós fazíamos as contas e dizíamos que a casa precisava de umas 30 massas; isto significava que iríamos precisar de 30 sacos de 30 quilos de cal aérea. Cada saco de cal de 30 quilos levava cerca de 6 cestos de vime de areia. Nós deitávamos a areia no chão juntamente com a cal, dentro de um quarto da casa e misturávamos tudo até ficar bem misturado. Depois abria-se um buraco na mistura e deitava-se muita água, deixava a amassadura a derregar, mais de 2 dias. Todos os dias deitávamos água na massa de cal de modo a não deixar secar, aquilo aguentava dias sem se estragar. À medida que precisávamos da massa íamos buscar um pedaço, deitávamos o cimento e amassava-se a massa para depois vestir as paredes. O pedaço de massa de cal e areia que se tirava era normalmente quatro cestos de vimes e adicionávamos 1 saco de 50 quilos de cimento. Se fossemos aplicar sem deixar derregar esta massa não prestava; a cal ficava muito babosa e mesmo depois de deitar o cimento era difícil vestir uma parede nestas condições” (informação oral)*.

Muita da areia utilizada em obra, nas argamassas de revestimento e de assentamento de blocos de betão, vinha de lugares como a Freguesia do Caniçal que durante muito tempo foi um local muito rico em agregados deste tipo. Este local atualmente encontra-se protegido e é proibida a extração de areia. Segundo o Mestre Pedreiro Manuel Alves, *“durante muito tempo tirava-se areia do Caniçal e quem não tinha dinheiro para comprar areia, roubava”*.

O revestimento das habitações era feito em duas camadas, a primeira camada de revestimento, designado localmente como respingo (chapisco), garantia a aderência da segunda camada ao bloco de cimento. Segundo o Mestre Pedreiro Manuel Alves, *“O respingo era constituído por pó de brita ou areão extraído das furnas, areia e cimento. O areão era mais difícil de encontrar e de extrair; na Madeira a única zona conhecida onde existia este areão era na zona do Caniço, este areão foi extraído em bastante quantidade até ter sido proibido. Nós usávamos três cestos de brita e um saco de cimento de 50 kg, com um pouco de areia sem ser preciso cirandar. A areia podia ou não ser adicionada, dependendo do tamanho do pó de pedra; se o pó de pedra fosse fino não usávamos areia. Depois era feita uma camada final de revestimento composta por areia cirandada e cimento. Era normal utilizarmos um de saco de cimento de 50 kg para quatro cestos de areia. Se o respingo fosse para ficar à vista usava-se pós de brita mais grossos. Era normal usar-se um saco de cimento de 50 kg para dois cestos de pó de brita”*.

Neste período os fornos para cozinhar continuavam a ser construídos nas casas madeirenses, com uma argamassa que servia para assentar as pedras e tratar as juntas, sem comprometer a funcionalidade do forno. Inicialmente utilizava-se uma mistura tradicional constituída por cal, cimento, areia e cinzas de lenha. Esta argamassa era conhecida como “massa de fogo”. Segundo o Mestre Pedreiro Manuel Alves, *“estes elementos eram todos misturados usando como medida um caneco; deitava-se um caneco de cimento, três canecos de cal, três canecos de areia e cinco canecos cinza. Estas quantidades variavam de pedreiro para pedreiro, dependendo de cada um, principalmente a quantidade de cinza”*. Após o diálogo com o Mestre Pedreiro Manuel Alves acerca desta “massa de fogo” sabe-se que este tipo de argamassa foi fruto de muitas experiências artesanais efetuadas pelos trabalhadores que, face às dificuldades encontradas, tentaram obter uma argamassa que garantisse a boa funcionalidade do forno. Esta cinza funcionava muito provavelmente como uma adição pozolânica e como filler. *“Quem não tinha muita experiencia e apenas utilizava areia e cimento depressa se apercebia que esta mistura não funcionava. Com a força do calor esta massa partia e o forno deixava de funcionar”* (por informação oral). Esta argamassa “de fogo” resultava na obtenção e na preparação dos seguintes materiais:

- A cal aérea oriunda do Porto Santo quando chegava à obra era peneirada de modo a obter-se uma “cal fina”. *“A cal reagia bem ao fogo; não rebentava com o calor mas custava muito a secar”* (informação oral).
- O cimento Portland oriundo do Continente vinha em sacos de 50 kg. *“Deitávamos na mistura para esta ficar forte e para fazer a secagem mais rápida da massa”* (informação oral).
- A areia era “cirandada” de modo a obter-se uma areia fina.
- A cinza resultante da queima da lenha era peneirada para obter-se pó. *“Esta cinza servia para cortar a força do cimento, era boa para deitar na mistura, pois o pó de cinza já não ardia mais”* resultante da queima da lenha.

Outra argamassa que surgiu durante este período foi a argamassa à base de cimento que servia para a elaboração dos blocos de betão. Segundo o Mestre Pedreiro Manuel Alves, *“Levavam areia do mar ou da ribeira, a que houvesse mais à mão, e não se cirandava; ficava mesmo com pedaços de pedras. Depois era adicionado o cimento; esta mistura era normalmente um saco de 50 kg de cimento para cinco cestos de areia ou um saco de cimento de 50 kg para seis cestos de areia. Amassávamos a massa ao lado e depois enchíamos uma forma de madeira que era um conjunto de tábuas afastadas e colocadas em*

campo aberto. Tínhamos uma tábua para o fundo do bloco e quatro tábuas para os lados. Para fazer os buracos do bloco eram utilizados barrotes de madeira”. Com o passar do tempo a “receita” da argamassa utilizada no fabrico do bloco de cimento sofreu algumas alterações, como explica o Mestre Pedreiro Manuel Alves: “a lei começou a proibir a extração de areia nas ribeiras e nas praias, entre outras zonas. Com isto muitos dos fabricantes de blocos viram-se forçados a introduzir, além da areia, outros materiais para fazer os blocos, como areão das pedreiras ou até mesmo pó de pedra das várias pedreiras na ilha”.

Para o assentamento dos blocos de betão usava-se uma argamassa de areia e cimento (Figura 3.2). Como o Mestre Pedreiro Manuel Alves esclareceu, “muita da areia que eu utilizei neste período vinha do Caniçal, e quando chegava à obra era cirandada. Usava-se normalmente um saco de cimento para quatro cestos de areia para sentar os blocos”.



Figura 3.2 – Argamassa corrente de assentamento à base de cimento feita em obra (esq.), assentamento corrente de alvenaria de blocos de betão com argamassa de assentamento à base de cimento (dir.).

A argamassa no séc. XX para fixar os azulejos resultava numa mistura à base de cimento e cal ou só cimento, que garantia a aderência ao suporte de forma eficaz e segura. De acordo com a informação fornecida pelo Mestre Pedreiro Manuel Alves, “para fixar e sentar azulejos e mosaicos, usávamos normalmente dois tipos de argamassa, uma para mosaicos que eram colocados no chão e outra para os azulejos que iam para a parede. Nós, quando sentávamos o azulejo, usávamos uma massa constituída de um saco de 50 kg de cimento e seis cestos de cal peneirada. Se usássemos mais do que seis cestos de cal a massa ficava fraca e o azulejo caía da parede. Para a loiça do chão fazíamos um pouco diferente; utilizávamos apenas o cimento. Depois de ter a laje feita e seca, vestia-se a laje com uma massa de um saco de cimento de 50 kg para quatro cestos de areia; punha-se tudo direitinho, deixávamos secar durante três horas e depois deitávamos o cimento em pó em cima da massa. A superfície da laje ficava macia e colocava-se logo a loiça em cima ficando tudo bem fixo”.

Com o passar do tempo as argamassas evoluíram e hoje em dia pode-se encontrar argamassas de vários tipos e de diversas utilizações. No séc. XXI torna-se frequente a utilização de argamassas pré-doseadas na RAM, deixando de ser necessário afetar mão-de-obra qualificada no doseamento de matérias-primas para a preparação das argamassas. Elimina-se assim parte do problema associado à similaridade e qualidade das argamassas, minimizando em grande escala o erro no doseamento e na mistura dos diferentes componentes da argamassa, reduzindo ainda o prazo da construção.



No mercado madeirense no séc. XXI nota-se uma grande oferta de argamassas pré-doseadas principalmente do tipo argamassas de reboco. Através do contacto com a empresa madeirense Máxima Dinâmica e com alguns trabalhadores independentes, foi possível recolher informação relativamente à utilização de argamassas nas edificações madeirenses. Os rebocos podem ser aplicados tanto no interior como no exterior, respeitando as recomendações dos fabricantes. Relativamente à forma de aplicação, estes podem ser aplicados de duas maneiras, manualmente ou por projeção mecânica.

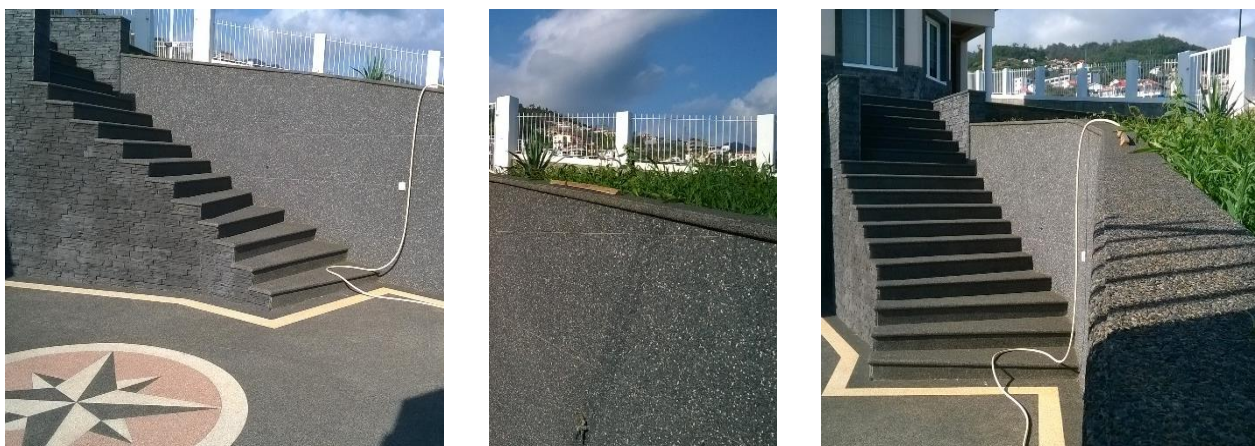
O estuque de gesso foi durante muitos séculos utilizado no acabamento das paredes interiores e tetos dos muitos edifícios madeirenses. Atualmente o estuque aplicado consiste numa argamassa pré-fabricada composta essencialmente por gesso, que deve sempre ser protegido contra a água. Segundo o pintor Edmundo Alves, *“as pessoas gostam muito das paredes estucadas, fica uma superfície bastante agradável. O problema da nossa ilha é a humidade, principalmente nas caves, que estragam o estuque, aparecendo bolhas e manchas de humidade. Sou chamado frequentemente para algumas obras, para reparar alguns estuques que têm fendas e que estão a cair; estes tipos de problemas são comuns. Principalmente quando houve aquela loucura de construção na ilha, muitas casas foram feitas em cima do joelho com trabalhadores não qualificados. As manchas de humidade aparecem normalmente quando as paredes estão em contacto com a água, principalmente nas caves, ou quando algum tubo rompe”*.

A utilização do bloco de cimento continua a ser frequente em alvenarias; estes apresentam uma superfície rugosa e irregular, permitindo uma boa aderência das argamassas pré-doseadas sem a utilização de chapisco. Com o surgimento de argamassas de reboco pré-doseadas é possível a aplicação em diversas superfícies sem que estas estejam devidamente preparadas. Segundo o Mestre Pedreiro Marco Alves, *“já existe rebocos de várias qualidades e de várias aplicações; quando uso estes rebocos não necessito de respingar a parede de blocos”*. Contudo ainda existem alguns trabalhadores que utilizam alguns primários e/ou argamassas de aderência, como o caso do chapisco, sem que tal seja totalmente necessário, assim elucida o Mestre Pedreiro Marco Alves: *“mesmo com estas argamassas novas eu muitas das vezes uso o respingo para ter certeza que o reboco agarra melhor à parede”*.

Depois da aplicação das argamassas de reboco pré-doseadas no exterior dos edifícios recorre-se à aplicação das camadas de acabamento que podem ser: revestimento com pedra regional, com cerâmica vinda de Portugal ou sistemas de pintura com tinta de várias marcas. A aplicação desta camada final no edifício é realizada normalmente depois de garantir que o reboco já secou completamente e que ganhou a consistência e a dureza necessária. Segundo o pintor Edmundo Alves, *“Respeito sempre os métodos de aplicação do fabricante; se lá diz que são duas a três camadas de tinta, eu aplico três camadas. Se é para aplicar pedra basáltica nas paredes ou até mesmo azulejos, uso sempre uma argamassa própria”*.

De modo a recolher-se uma maior informação sobre as argamassas utilizadas nos dias de hoje optou-se por efetuar uma entrevista ao empreiteiro local Élvio Alves, uma vez que se soube que a utilização de argamassas pré-doseadas em fábrica tem sido cada vez mais frequente pela sua empresa, Máxima Dinâmica. *“Na minha empresa trabalhamos com várias argamassas, principalmente com rebocos termo-isolantes.. Este reboco trata-se de uma argamassa com características térmicas, com poliestireno expandido, normalmente aplicado à máquina sobre os blocos sem recorrer ao respingo. Aplicamos duas camadas de argamassa com mais ou menos 4 cm de espessura cada, assim evitamos o aparecimento da fendilhação no reboco”*.

Como argamassa com particularidades muito regionais tem-se a denominada brita lavada visível na Figura 3.3. Trata-se de uma argamassa feita em obra, tipicamente madeirense, aplicada nas muitas construções como uma argamassa de revestimento. No Subcapítulo 3.5 da dissertação aborda-se em pormenor este tipo de argamassa e sistema de aplicação.



*Figura 3.3 – Brita lavada numa moradia no Concelho de Machico aplicada em pavimentos (esq.), em paredes (centro), no capeamento de paredes e em escadas (dir.)*

### **3.5. A Brita Lavada**

Não é possível detalhar-se a brita lavada sem primeiro realizar-se uma pequena referência à marmorite tradicional, visto que o surgimento de uma dependeu da outra. São «muito tradicionais em Portugal revestimentos de paredes e de pavimentos de marmorite, em que são utilizados agregados especificamente escolhidos pela sua granulometria, forma e cor. Entre eles são correntes agregados de vidro, de cores e dimensões diversas» (Faria, 2012). A marmorite é constituída pela aplicação de uma camada de acabamento, por vezes pigmentada, com agregados escolhidos sobre um reboco de regularização. Algumas horas após aplicação a superfície da camada é lavada para eliminação da pasta superficial e exposição dos agregados (Faria et al., 2010).

«A marmorite é um acabamento frequente em Portugal em edifícios do período que vai de 1950 a final da década de 1970, principalmente nas zonas de Lisboa, distritos a Norte e a Sul do Tejo e Algarve» (Veiga et al., 2007). Na Madeira passou a ser frequente a sua aplicação como revestimento de paredes e pavimentos nos anos 70 e 80, apresentando como grande desvantagem a inexistência de matéria-prima na RAM para produzir esta argamassa. A marmorite tradicional realizada na RAM era constituída por uma argamassa de cimento com pequenos fragmentos de pedra (gravilha de mármore) que concediam um aspeto brilhante à argamassa que era aplicada nas paredes e nos diversos pavimentos dos edifícios. Todos os constituintes desta argamassa eram importados, muitos deles provenientes de Portugal. Refere Marco Reis que “o transporte de muitos materiais que eu e o meu pai usávamos na massa de marmorite vinha de fora da Madeira; aqui não havia o pó de mármore” (informação oral).

«Consiste numa argamassa de revestimento não pintada, em que o efeito decorativo é dado pelo agregado à vista que é selecionado – cor, dimensão e forma – para conferir o aspeto pretendido e é adicionado ao ligante da argamassa em vez da vulgar areia» (Veiga et al., 2007). O revestimento em marmorite na ilha da Madeira apresenta um acabamento brilhante e polido, garantindo uma grande resistência, impermeabilização e ainda facilidade na manutenção e limpeza do revestimento. Na RAM



não era comum a técnica de lavagem da argamassa, nem a sua aplicação na totalidade das fachadas do edifício. Marco Reis afirma que *“a marmorite que o meu pai fazia era a polida e para polir a marmorite ele usava uma máquina própria. Esta máquina tinha 3 cabeças diferentes, e eram feitos três ou mais polimentos para dar aquele acabamento vidrado da marmorite como se vê nos centros comerciais que tem na Madeira”* (informação oral). A marmorite na Madeira surge assim como uma simulação da pedra calcária, da mesma forma que a brita lavada simula a pedra basáltica da RAM, tratando-se muitas das vezes de uma opção financeira: a marmorite é mais barata que o mármore e a brita lavada é mais barata que a pedra de cantaria basáltica. Em alternativa a marmorite e a brita lavada são ainda escolhidas por poderem não apresentar a típica junta presente nos diversos materiais de origem cerâmica.

A marmorite evoluiu imenso nos últimos 20 anos sendo possível encontrar-se vários tipos de sistemas de aplicação e execução de revestimentos como, por exemplo, marmorite de alta espessura (> 2cm), marmorite em epóxi, entre outros. De modo a obter-se estas variantes a argamassa de marmorite foi sendo alterada, passando a ser constituída por cimentos especiais, resinas, agregados de granulometria ainda mais variada e selecionada (apresentando grande diversidade nas suas cores) e ainda a presença de adjuvantes químicos. O acabamento epóxi garantiu que a marmorite passasse de material poroso a impermeável. Contudo a sua aplicação na ilha da Madeira decresceu com o passar do tempo: *“a realização de acabamentos em marmorite aqui na região é reduzida”* (recolhido por entrevista oral).

A argamassa de brita lavada surgiu através de diversas experiências realizadas por Agostinho Reis nos anos 80 e 90, na RAM. Esta argamassa, ao contrário da marmorite, tinha na sua constituição um agregado proveniente da região, a “sarrisca” basáltica. Depois de seca garantia uma boa aderência, mesmo sendo aplicada em pisos inclinados. Marco Reis afirma que *“o meu pai inventou a brita lavada; era melhor e mais barata do que a marmorite. O meu pai nas suas experiências usou, para misturar com o cimento, pó de pedra da Madeira, que vinha de uma pedreira de Câmara de Lobos mesmo no nosso concelho”*. A argamassa de brita lavada surge, assim, como um derivado da marmorite tradicional, oriunda e muito utilizada no Continente Português: *“a brita lavada é uma adaptação madeirense da marmorite do Continente”* (recolhido por entrevista oral). Através da entrevista realizada a Marco Reis, dono da empresa Reis e Sousa, perita em execução de argamassa em brita lavada e não só, obteve-se a seguinte informação *“O meu pai, Agostinho Reis, fez há uns anos atrás muitos pavimentos em marmorite polida. As técnicas de fabricar a marmorite foi trazida do continente. O meu pai aprendeu a fazer este revestimento com um senhor do continente; ele viu como o senhor trabalhava e foi fazendo igual. Com o passar do tempo o meu pai foi vendo que este tipo de acabamento não era muito bom, as pessoas escorregavam nos pavimentos de marmorite com bastante facilidade e ainda por cima a inclinação dos terrenos onde estavam as casas não ajudava muito. Se fosse para fazer uma rampa de uma garagem tinha-se um grande problema: não havia atrito”*. Face a estes problemas o senhor Agostinho Reis decidiu realizar algumas experiências, que originaram a brita lavada. O seu nome foi escolhido de acordo com a técnica utilizada para finalizar o acabamento. Marco Reis refere que *“quando o meu pai fazia a brita lavada, ele colocava a massa no chão, esperava que ela secasse um pedaço - não podia deixar secar muito - e depois passava uma vassoura com água que lavava a brita, deixando a argamassa com um acabamento áspero. Lavava a goma de cimento e pigmento que ficava em cima e deixava as pedras à vista, daí o nome brita lavada”*.

Surgem, um pouco por toda a Ilha, várias empresas dedicadas ao ofício de executar brita lavada e marmorite. Inicialmente a argamassa era aplicada apenas em pavimentos e paredes, possibilitando a criação de diversos padrões e/ou desenhos nos pavimentos dos edifícios, fingindo lajetas ou blocos de pedra. Depois começaram a construir-se pias, tanques, cubas, lavatórios, entre muitos outros objetos, como a chaminé visível na Figura 3.4.



Figura 3.4 – Chaminé em brita lavada

Os traços não variam muito de empresa para empresa; o que varia é, muitas vezes, o tipo e dosagem de pigmento utilizado na composição da argamassa de brita lavada. A quantidade de pigmento utilizado dependerá da sua qualidade - *“já usei pó preto da China e quando usava tinha que deitar muito mais quantidade para ficar com a massa bem preta; o pó preto da Bayer é bem melhor mas também mais caro”* (recolhido por entrevista oral) - e dos requisitos do dono de obra - *“há quem pergunte ao mestre se não dá para fazer a massa bastante escurinha, para não ver o cinzento do cimento na massa; nesses casos deita-se ½ litro de pigmento a mais”* (recolhido por entrevista oral).

Atualmente o processo de fabrico da argamassa de brita lavada tem evoluído, sendo possível encontrar vários tipos ou variantes da brita lavada, como a brita lavada branca, preta, preta e branca, vermelha e amarela. Para realizar estas variantes é comum recorrer-se à importação de pedra natural de várias cores e origens. Estes agregados são provenientes na sua maioria de Portugal continental, com exceção da argamassa de brita lavada preta que tem na sua composição o agregado de pedra preta proveniente da Pedreira do Concelho de Câmara de Lobos, que é explorada pela empresa JAP Construção e Engenharia. Assim, afirma Marco Reis, *“os materiais locais são o pó de pedra preto, de uma pedreira de Câmara de Lobos; o pó de pedra branco, vermelho e amarelo (mármore) vem de fora (Continente Português), bem como o pigmento. Na altura de maior construção era frequente encomendar grandes quantidades de pó de mármore de várias cores”*. O chamado pó de pedra não é efetivamente um pó, mas sim rocha britada com granulometria grosseira (bem mais grossa que areia corrente para argamassas).

No mesmo pavimento é possível realizar-se diversos tipos de brita lavada, elaborando alguns desenhos, como por exemplo estrelas visíveis na Figura 3.5. *“Quem encomenda um trabalho nosso escolhe o que quer, muitos pedem estrelas, símbolos, rosa-dos-ventos com varias cores, metade de branco e outra metade de preto”* (recolhido por entrevista oral).



Figura 3.5 – Pavimento realizado em brita lavada onde é possível visualizar desenhos de diversas cores

De acordo com a informação recolhida na empresa Reis e Sousa acerca dos traços da brita lavada, o mais utilizado pelo Marco Reis, dono da empresa, é o seguinte: “6 baldes de 25 litros de pó de pedra com 2 sacos de cimento de 50 kg e 2 baldes de 1 litro de pigmento preto; usamos normalmente 1 balde de 1 litro de pigmento para 1 saco de cimento de 50 kg”.

Este traço é característico da argamassa de brita lavada preta; no caso da argamassa de brita lavada preta e branca tem-se, de acordo com Marco Reis, que “juntar à mistura da brita lavada preta um balde preto de pedreiro de 10 litros com agregado de mármore branco ou dois se quisermos um pouco mais de branco. Na casa do Empreiteiro Élvio Alves o pavimento e os degraus foram feitos pela minha empresa e nessa obra foi adicionada apenas um balde de pó de mármore branco de 10 litros à argamassa de brita lavada preta.

Em conversa com Marco Reis soube-se que a arte de realizar brita lavada tem várias técnicas e possui alguns cuidados durante todo o processo, como o caso da aderência da argamassa de brita lavada ao suporte. “Quando vamos fazer brita lavada no chão de uma casa, se eu chegar à obra peço aos pedreiros para deixar o chão com buracos, para depois a massa agarrar ao chão enchendo bem os buracos. Quando aplico a brita lavada nas paredes o ideal seria que estas tivessem cobertas com respingo para a massa agarrar melhor. Se não têm respingo peço ao pedreiro para não alisar as paredes e, se ele poder, apenas corte a massa com a régua e deixe assim, ou então passe com os arames de amarrar ferro na parede para deixar a parede rugosa fazendo com que a brita lavada agarre à parede”.

O principal cuidado a ter durante a amassadura da brita lavada é a temperatura ambiente e a humidade relativa. Marco Reis refere que “se estiver muito calor o trabalho é feito de maneira diferente do que quando está frio. No verão começa-se bem cedo a trabalhar, logo pela manhã quando está mais fresco, verificando sempre como está a massa”. Em obra foi possível notar-se que os trabalhadores verificavam com os dedos se a argamassa estava pronta a ser lavada ou não: “acalca-se com os dedos; se marcar pouco a massa já está pronta para ser lavada. Com este calor temos sempre que ter cuidado para não deixar a massa secar muito” (informação oral). Outro cuidado a ter-se na realização da brita lavada está relacionada com a dimensão dos painéis, que não devem exceder 4m<sup>2</sup>. Segundo Marco Reis “a gente normalmente coloca as calhas metálicas no chão, fazendo quadrados no pavimento; não convém muito fazer quadrados grandes, porque depois, quando a massa começa a secar, ela começa a partir”.

Durante a fase de investigação de casos de estudo foi possível visualizar-se o processo de realização de brita lavada no revestimento de pavimento exterior de uma habitação privada, que consistiu nas seguintes fases:

- Primeira Fase - Preparação prévia do terreno onde irá ser aplicado a argamassa de brita lavada, nivelamento do terreno. *“Se não nivelarmos o terreno, o que pode vir a acontecer é o pavimento apresentar zonas onde pode ocorrer depósito de água, criando poças de água no pavimento”* (recolhido por entrevista oral).
- Segunda Fase - Colocação das calhas de alumínio, que são utilizadas para realizar juntas de esquartelamento, definindo quadrados de 4m<sup>2</sup> de área. As calhas têm o formato de T invertido e são fixadas com pregos, originando as juntas da brita lavada. Durante a colocação destas calhas é possível verificar se o pavimento está nivelado ou não, nas zonas que esteja um pouco desnivelado coloca-se um calce debaixo da calha, normalmente quadradinhos pequenos em “platex”, para nivelar a calha de alumínio. Para verificar o nível das calhas utilizou-se um fio de pesca. *“Se o chão estiver muito torto e se o dono quiser podemos deitar um chão novo para por tudo direitinho”* (recolhido por entrevista oral).
- Terceira Fase - Aplicação da “goma”, que consiste numa calda de cimento Portland e pigmento, com a mesma cor do pigmento que será utilizado para realizar a brita lavada. Esta goma de cimento é aplicada diretamente no suporte, para que exista uma maior compatibilidade entre a argamassa de brita lavada e o suporte. *“Quando se deita a gominha no chão é logo absorvida, quando se deita a massa de brita lavada no chão, ele já não bebe mais nada, já bebeu a goma. Se for uma goma para o chão, faz-se a goma bastante aguada, para as paredes a goma já não é aguada, é durinha; não convém que a goma escorra pela parede abaixo”* (recolhido por entrevista oral).
- Quarta Fase - Realização da argamassa de brita lavada. Deve-se utilizar sempre o mesmo traço na realização da brita lavada; *“é sempre o mesmo mestre que é responsável por fazer a massa, assim não existe alteração na receita da brita lavada, a massa fica sempre igual, com as mesmas quantidades de brita, de cimento e de pigmento; se forem pessoas diferentes a fazer a massa, a brita pode ficar com zonas mais claras e outras mais escuras”* (recolhido por entrevista oral).
- Quinta Fase - Aplicação da argamassa e afagamento da brita lavada, permitindo que a maioria dos finos da argamassa da brita lavada suba para a superfície; esta parte é crucial pois se for bem realizada irá possibilitar a correta lavagem da brita lavada. *“Depois de deitar a massa, afagamos a massa criando um espelho, deixando tudo direitinho, tudo perfeito, sem ficarem as marcas da colher”* (recolhido por entrevista oral).
- Sexta Fase – A última fase de todo o processo consiste na lavagem da argamassa da brita lavada, que neste caso foi realizada com uma máquina de lavar à pressão. A técnica de lavagem irá definir a “grossura” da brita lavada: *“se ficarmos muito tempo numa zona a lavar, a brita fica mais saliente, mais grossa; quando passamos a máquina ao de leve a brita fica menos saliente, mais fininha”* (recolhida por entrevista oral). Antigamente a lavagem da argamassa da brita lavada era realizada com uma vassoura e uma mangueira. *“Quando se lava a massa lavamos apenas aquela goma que fica em cima, não se tira o pó-de-pedra que está na massa; a massa é lavada logo depois de ser feita; a massa está boa para lavar quando metemos o dedos e não deixa marca na massa”* (recolhido por entrevista oral).



Além do revestimento de pavimento em questão foi possível visualizar a realização de um lance de escadas com quatro pequenos degraus onde foi utilizado cofragem de madeira para efetuar o chamado “dente” do degrau (Figura 3.6). “Normalmente quando vamos fazer uma obra levamos a cofragem a utilizar, esta cofragem é de madeira e feita numa carpintaria local. Em primeiro lugar faz-se o cobertor das escadas e depois o espelho” (recolhido por entrevista oral).



Figura 3.6 – Escadas (esq.) pormenor do dente da escada (dir.) em brita lavada

Verificou-se que ao longo do séc. XX e XXI a utilização da argamassa de brita lavada foi constante, presente nas diversas obras Madeirenses, sendo cada vez mais procurado para a realização de diversas paredes, pavimentos bem como de objetos, referidos anteriormente. Contudo, na RAM a argamassa de brita lavada ainda não foi alvo de estudo. Considera-se assim pertinente efetuar um trabalho experimental de forma a adquirir-se informações científicas sobre este tipo de argamassa de revestimento.

Em Março de 2015 saiu no Jornal Público um artigo com o título “O betão encontrou o basalto e isso deu cinzento mais escuro”. O artigo fala sobre uma técnica aplicada no centro de artes contemporâneas da Ribeira Grande nos Açores “Arquipélago”, semelhante à brita lavada aplicada na Madeira. Mas, ao contrário do que se faz na Madeira, a técnica praticada nos Açores foi em betão armado. Esta técnica foi aplicada na ampliação e reabilitação de uma fábrica do séc. XIX. Foram realizados edifícios novos em betão armado, visíveis nas imagens fornecidas pelo arquiteto José Lima (Figura 3.7) que “*inclui como inerte a pedra basáltica e ainda um pigmento que faz com que tenha um cinzento mais escuro do que o betão normal*”. De acordo com o artigo sabe-se que antes da realização desta técnica construtiva foi pedido à cimenteira Secil uma investigação sobre “*o pigmento e os inertes que compõem o betão. Foram produzidas várias amostras, experimentadas em estaleiro até à escolha final: oito por cento de pigmento preto e pedrinhas de basalto com uma dimensão máxima de 10 milímetros*” (Salema, 2015).

De modo a obter-se as diferentes texturas observadas na Figura 3.7 “*depois de retiradas as cofragens do betão – os moldes em contraplacado que dão forma ao betão fluido até ao seu endurecimento – ainda foram trabalhadas as texturas das superfícies. É por isso que nuns sítios o betão é polido e noutras bujardados. Aqui foi interessante perceber que na composição destes betões era necessário, passadas 12 horas de cada cofragem, retirá-la e fazer uma pré-lavagem do betão para que os inertes aparecessem*”.



*Figura 3.7 – Antiga fábrica e novo centro de artes contemporâneas da Ribeira Grande nos Açores (esq.) e os dois tipos de superfície de betão armado, polido e bujardado (dir.).*

Em contacto com o engenheiro da Secil Vítor Vermelhudo sobre a tal investigação realizada soube-se que “no que toca a este betão, aquilo que na altura fizemos foi apoio ao projetista na fase de projeto. Este apoio consistiu na execução de amostras protótipo laboratoriais e apoio na execução dos elementos para o caderno de encargos. No que toca às amostras laboratoriais estas foram executadas com agregados basálticos, provenientes dos Açores (britas, pó de pedra e areia). Fizemos amostras com acabamento desativado e polido. Variámos também a incorporação dos agregados grossos em algumas amostras (umas amostras não tinham brita 2). Fizemos amostras sem pigmento (betão cinzento) e outras com pigmento preto (8 e 10%). Não acompanhámos depois a fase de obra, mas pelo artigo, referem que utilizaram uma dimensão máxima de brita basáltica de 10mm (sem a brita 2) em conjunto com os outros agregados basálticos, 8% pigmento preto e pelas fotos, o nível de desativação parece ligeiro (eventualmente N01). Também referem que nalgumas zonas, utilizaram betão polido”.

### **3.6. Estudos Anteriores sobre Argamassas do tipo da Brita Lavada**

Como já foi referido anteriormente, não existem muitos trabalhos científicos que se foquem neste tipo de argamassas. No entanto foi possível encontrar estudos relacionados com argamassas de cimento que utilizam agregados do mesmo tipo dos que vão ser utilizados nesta dissertação (areia fina siliciosa, gravilha calcária e gravilha basáltica), permitindo avaliar propriedades como a capilaridade (Stefanidou, 2014), justificar certos comportamentos analisando as interações físico-química entre os agregados e o cimento (Lee et al., 2007; Tasong et al., 1998a) e ainda classificar certos aspetos da brita lavada através da influência dos agregados relativamente às propriedades físicas entre agregado e pasta de cimento (Tasong et al., 1999; Tasong et al., 1998b).

Braja (2008), Song (2009) e Saraya (2014) efectuaram varias análises aos agregados, com o objectivo de avaliar a importância do agregado na argamassa. Muitos dos agregados avaliados eram semelhantes aos que vão ser estudados nesta dissertação, sendo possível retirar algumas conclusões relevantes. De modo a avaliar a sua importância os investigadores determinaram: vários parâmetros como o índice de vazios, volume de vazios e baridade de gravilhas e areias; averiguaram qual o agregado que demonstrava maior estabilidade quando aplicado em argamassas e betões; e verificaram qual o tipo de agregado que demonstrava as melhores propriedades físico-mecânicas. Laibao et al. (2013) estudou

aspectos como a geometria, rugosidade e área superficial dos agregados e o papel que têm quando adicionados a uma argamassa.

Relativamente à influência dos pigmentos apresentam-se na Tabela 3.1 diversos estudos que abordam determinadas propriedades de argamassas e betões com pigmentos inorgânicos na sua composição, investigando vários aspectos mecânicos e físicos:

*Tabela 3.1 – Estudos que avaliam determinadas propriedades de argamassas e betões com pigmentos inorgânicos*

<b>Estudo</b>	<b>Caracterização</b>
Lee et al. (2005)	Investiga os efeitos dos pigmentos inorgânicos na fluidez das argamassas de cimento
Mowat e Symons (1981)	Verifica se a adição de vários pigmentos inorgânicos contribui de forma negativa para a resistência à compressão e retracção por secagem do betão armado
Buchner (1991)	Avalia possíveis alterações mecânicas e físicas de betões com pigmento na sua composição
Gunter (1993)	Apresenta vários pigmentos inorgânicos, abordando aspectos como: o processo de fabrico, as suas aplicações e mercado alvo, procedimentos de ensaio e normalização e ainda a regulamentação ao nível da saúde e meio ambiente
Peter (1988)	Apresenta pigmentos de diversas cores e de diversas origens, nomeadamente pigmentos orgânicos e pigmentos inorgânicos
Hendges et al. (2004)	Exibe aspectos relacionados com a resistência à compressão de betão armado produzido com pigmentos e cimentos Portland cinza e branco e ainda o custo associado à produção destes betões
Alencar (2005)	Analisa a influência da adição de pigmentos na resistência à compressão e durabilidade do betão armado com cimento Portland branco e cinza

### **3.7. Estudos Anteriores sobre Caracterização de Pedra para a Construção**

Têm sido realizados diversos estudos com o objectivo de caracterizar diversas pedras naturais. Não existindo informação sobre o basalto da RAM utilizado como agregado na produção da brita lavada, apresentam-se alguns estudos que caracterizam: basaltos de outros pontos do globo; outros tipos de pedras; pedras utilizadas na RAM como cantaria; e ainda as pedras ornamentais mais usuais do Continente.

Suryawanshi (2013) e Engidasew (2013) realizaram diversos ensaios a basaltos provenientes de diversos países, respectivamente da Índia, Etiópia e Itália. Foram estudados diversas propriedades do basalto avaliando a sua capacidade para ser empregue na construção civil. Para isso os investigadores recorreram a diversos ensaios físicos e mecânicos determinando: a densidade e a porosidade do basalto, a sua capacidade de absorção de água à pressão atmosférica, as resistências mecânicas à compressão e à tracção por flexão, a propagação dos ultrassons e ainda a determinação do módulo de elasticidade dinâmico.

Na Tabela 3.2 sintetizam-se estudos que abordaram determinados temas relacionados com pedras de diversos tipos (magmáticas ou ígneas, metamórficas e sedimentares ou estratificadas).

*Tabela 3.2 – Estudos que avaliam determinadas propriedades de pedras naturais*

<b>Estudo</b>	<b>Caracterização</b>
Mogi (2007)	Avalia a deformação e a factura das pedras e ainda a sua emissão acústica
Christaras et al. (1994)	Determina e compara o módulo de elasticidade dinâmico das pedras através de dois métodos distintos (velocidade de propagação dos ultrassons e medição da frequência fundamental)
Quick (2002)	Apresenta os padrões e especificações das pedras mais comuns na Austrália, delineando as suas principais propriedades, que devem ser consideradas quando utilizadas como material na construção civil
Bell (2007)	Exibe aspectos relacionados, entre outros, com: os vários tipos de rocha e a estratigrafia; as estruturas geológicas existentes; a descrição, as propriedades e o comportamento de solos e rochas
Baglioni (2007)	Aborda a importância dos aspectos físicos de materiais tradicionais, pedras e não só, na concepção e construção de edifícios
Reis (2010)	Indica valores físicos de pedras utilizadas na construção civil em Portugal, nomeadamente a densidade, porosidade e a absorção de água à pressão atmosférica
Kobranova (1989)	Apresenta análises petrofísicas de diversas pedras

Relativamente às pedras do arquipélago da madeira a única bibliografia encontrada incide apenas na análise físico-mecânica de pedras aplicadas como cantaria. Silva et al. (2002) avalia diversos tipos de cantaria, nomeadamente taquibasalto tufos e traquitos.

Relativamente a pedras ornamentais mais usuais no Continente, Casal Moura et al. (2000), Vasconcelos (2005), Pinho (2015), Barros et al. (2014), Noronha (2011) e Burcio (2004) avaliaram as características físicas e mecânicas de granitos, mármore, calcários e xistos.



## **4. Campanha Experimental**

### **4.1. Enquadramento**

Nesta fase da presente dissertação pretende-se contribuir para um melhor conhecimento da argamassa brita lavada aplicada como revestimento em paredes exteriores e em pavimentos. A técnica de execução da argamassa de brita lavada baseia-se puramente no conhecimento dos construtores madeirenses que, como já referido anteriormente, através de experimentação chegaram a uma argamassa que correspondia às exigências que pretendiam.

Esta argamassa é realizada *in situ* utilizando materiais locais (sarrisca ou gravilha) despromovida de qualquer tipo de regulamentação ou especificação, para além da marcação CE obrigatória dos materiais de construção envolvidos. Uma vez que não se encontraram também nenhuma publicação sobre o tema, surge a necessidade de realizar uma caracterização destas argamassas.

A caracterização da brita lavada realizou-se em laboratório. Para além da formulação da brita lavada com a dosagem definida como mais frequente junto dos executantes na RAM, com cimento Portland, “sarisca” da RAM (gravilha ou agregado basáltico grosso britado) e pigmento negro, formularam-se outras argamassas diferentes utilizando sempre o mesmo ligante, o cimento Portland. Na realização destas outras argamassas foram utilizados, para além da “sarisca”, outros dois tipos de agregado diferentes: uma areia fina, corrente para reboco, uma gravilha calcária.

Foram realizados em laboratório: ensaios aos agregados (areia fina e duas gravilhas) e ao pigmento (óxido de ferro preto); ensaios às argamassas em estado fresco e endurecido (provetes prismáticos e cilíndricos); e ensaios à pedra basáltica (provetes prismáticos e cúbicos). As amostras de pedra basáltica foram previamente cortadas de modo a produzir provetes para a realização dos ensaios em Laboratório, possibilitando uma comparação com trabalhos realizados por outros autores.

Os provetes de argamassa foram ensaiados após 45 dias de cura *Standard* na sala condicionada dos Laboratórios de Construção do DEC/FCT-UNL a uma temperatura de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$  a  $65\pm 5\%$  de humidade relativa (HR). Todos os provetes submetidos na campanha experimental encontravam-se a igual HR e temperatura, assemelhando-se às condições de temperatura e HR média encontrada na RAM.

### **4.2. Materiais Utilizados nos Ensaios**

Neste Subcapítulo apresenta-se os materiais utilizados no fabrico das argamassas em laboratório: a areia fina e a gravilha proveniente do CP; a gravilha proveniente da RAM; o pigmento preto aplicado na brita lavada (óxido de ferro preto); o cimento Portland produzido pela SECIL (CEM II/B-L 32,5N) e a água da rede pública como o único constituinte líquido utilizado na produção das cinco argamassas em estudo. Apresenta-se também a pedra natural (basáltica).

#### **4.2.1. Ligante - Cimento Portland**

«Os ligantes são materiais que têm a capacidade de aglutinar partículas e funcionam como elementos ativos no estabelecimento de ligação entre vários componentes das argamassas. Em traços gerais, o cimento apresenta capacidades resistentes superiores às da cal, menores tempos de presa e uma presa menos sensível a variações ambientais» (Sousa, 1998).

Este ligante ao ser utilizado na produção de reboco tem como vantagens: «boa resistência mecânica; boa resistência ao choque e à abrasão; e boa aderência ao suporte» (Mascarenhas, 2003). Como desvantagens, argamassas compostas por cimento apresentam: «módulos de elasticidade muito elevados, originando uma baixa capacidade para acompanhar os movimentos da superfície; variações dimensionais por ação térmica muito maiores que em argamassas de ligantes aéreos; libertação de grandes quantidades de sais solúveis, que poderão contribuir para a deterioração acelerada do suporte; e baixa resistência à ação de sais do tipo dos sulfatos, por desenvolvimento de produtos expansivos a partir dos compostos hidráulicos» (Henriques, 1991).

O cimento utilizado na produção das argamassas resulta no processamento de rochas calcário-argilosas, foi produzido pela SECIL, classificado segundo a norma NP EN 197-1 (IPQ, 2012). Este cimento é designado cimento Portland CEM II/B-L 32,5N e apresenta uma cor cinzenta. De acordo com a especificação técnica é composto por: 65-79% de *clinker Portland*; 21-35% de *“filler” calcário* e 0-5% de *outros constituintes*. Segundo alguns dados da SECIL *“o cimento Portland de calcário CEM II/B-L 32,5N é o mais utilizado nas obras de construção civil. A sua excelente trabalhabilidade e baixo calor de hidratação tornam-no especialmente adaptado a todos os trabalhos correntes da construção”*.

#### **4.2.2. Agregados**

Nesta dissertação um dos objetivos foi a análise da influência do agregado. Deste modo variou-se o agregado nas diferentes argamassas estudadas.

Na constituição destas argamassas foram utilizados os seguintes três tipos de agregados:

- AR – Areia fina, britada, de origem siliciosa da zona de Sesimbra (CP), esta areia é fornecida pela SECIL Britas, proveniente de uma pedreira; de acordo com a norma NP EN 12620 (IPQ, 2010), apresenta dimensões de 0-2mm;
- GC – Gravilha, britada, de origem calcária da zona de Sesimbra (CP) esta areia é fornecida pela SECIL Britas, proveniente de uma pedreira; de acordo com a norma NP EN 12620 (IPQ, 2010), tem dimensões de 0-6mm;
- GM – Gravilha ou sarrisca (designação madeirense), britada, de origem basáltica, fornecida pela JAP, proveniente de uma pedreira localizada no Concelho de Câmara de Lobos, mais propriamente no Estreito de Câmara de Lobos no sítio do Castelejo (RAM); classificada de acordo com a norma NP EN 12620 (IPQ, 2010), tem dimensões de 0-6mm. Este material foi transportado via marítima da RAM diretamente para o Laboratório de Construção do DEC/FCT-UNL.

#### **4.2.3. Pigmento**

O pigmento utilizado foi um pigmento inorgânico, de origem sintética e mineral designado Preto 318 Bayer, fabricado pela empresa Benzina Química Internacional. Este pigmento é o mais utilizado na realização da brita lavada *in situ*, devido às características apresentadas. «Os pigmentos de origem natural possuem elevada capacidade de coloração, mas podem ser pouco homogêneos, dependendo da zona de extração. Os pigmentos de origem sintética possuem um elevado grau de pureza, uma maior estabilidade química e térmica, e uma maior uniformidade de cor» (Alvarez et al., 2007).

Através da campanha de ensaios será possível verificar a influência deste nas características das argamassas. «A adição de pigmentos pode prejudicar ligeiramente o incremento das resistências mecânicas conferido pela consolidação das argamassas» (Faria et al., 2012a).

#### 4.2.4. Pedra Basáltica

«À escala regional, no que respeita a RAM, os sectores extrativo, transformador e comercial de pedra natural na ilha da Madeira e, com menor expressão na ilha do Porto Santo, têm grande importância social, cultural e económica para uma comunidade insular onde, em termos de mercado, a procura desta matéria-prima é crescente ao contrário da oferta que tem diminuindo» (Gomes & Silva, 1997).

A pedra ensaiada em laboratório trata-se de uma pedra basáltica compacta proveniente da pedreira do Estreito de Câmara de Lobos localizado no sítio do Castelejo. Esta pedra é britada para incorporação corrente na brita lavada tradicional.

### 4.3. Plano de Ensaio e Formulação das Argamassas

A campanha experimental foi dividida em três fases, onde as duas primeiras foram dedicadas à caracterização dos agregados; produção dos provetes; caracterização do estado fresco das argamassas e por fim a caracterização do estado endurecido das argamassas. Na terceira e última fase foi realizada a caracterização dos provetes de pedra natural. Nos parágrafos que se seguem será realizada a descrição de cada fase com maior detalhe.

A primeira fase da campanha experimental iniciou-se em meados do mês de Julho e terminou no fim desse mesmo mês. Todo o trabalho de laboratório incidiu-se na caracterização dos diversos materiais constituintes das argamassas, na formulação das argamassas, na caracterização no estado fresco das argamassas produzidas e na produção manual de provetes prismáticos e circulares. As formulações estudadas foram todas produzidas em laboratório. A brita lavada foi realizada tradicionalmente, de acordo com os dados obtidos durante a pesquisa bibliográfica. Foram produzidas cinco argamassas diferentes em Julho de 2015, mês que deu início a toda campanha experimental. Como já foi referido anteriormente, o ligante utilizado nestas formulações é o cimento Portland; os agregados são duas gravilhas distintas ou uma areia fina. Algumas argamassas incluem a adição de um pigmento preto.

Na Tabela 4.1 tem-se a definição das cinco formulações de argamassas realizadas, identificando em cada uma os materiais utilizados, como por exemplo a gravilha de origem basáltica da RAM, a gravilha calcária e a areia siliciosa provenientes do CP e o pigmento utilizado (óxido de ferro preto).

*Tabela 4.1 – Descrição das cinco formulações de argamassas realizadas em laboratório*

Argamassa	Descrição
Mp	Brita lavada tradicional, com cimento Portland, gravilha ou sarrisca da Madeira (GM) e pigmento. A gravilha é basáltica, específica de pedreira da ilha da Madeira, britada, e o pigmento é óxido de ferro preto da Bayer.
Cp	Argamassa com cimento Portland, gravilha do Continente (GC) e pigmento. A gravilha é calcária, britada.
M	Argamassa semelhante à Mp, mas sem o pigmento preto.
C	Argamassa semelhante à Cp, mas sem o pigmento preto.
R	Argamassa com cimento Portland e areia fina (AR), corrente para reboco. A areia é siliciosa, proveniente da zona de Sesimbra.

Nesta fase, realizaram-se 45 provetes, mais propriamente 6 provetes prismáticos não lavados com as dimensões (altura=4cm; largura=4cm; comprimento=16cm) para cada uma das cinco amassaduras e ainda 3 provetes circulares lavados com as dimensões (diâmetro=9cm; espessura=2cm) para cada uma das cinco formulações. Uma vez que o resultado final da brita lavada resulta numa superfície bajurdada achou-se relevante realizar os ensaios de permeabilidade ao vapor de água e absorção de água a baixa pressão com os provetes lavados.

A segunda fase consistiu na caracterização das cinco formulações de argamassas em estado endurecido. Iniciou-se em Setembro e finalizou-se em Novembro de 2015. Os ensaios realizados aos provetes prismáticos bem como aos provetes circulares são descritos em 4.4.

Na terceira fase foram realizados os ensaios aos diversos provetes da pedra natural proveniente da RAM, que origina a gravilha aplicada na realização de brita lavada. Estes ensaios decorreram durante todo o mês de Outubro e Novembro de 2015, seguindo as normas referentes aos ensaios sobre as pedras naturais. Foram produzidos cerca de 24 provetes de pedra natural, 6 prismas (altura=4cm; largura=4cm; comprimento=16cm) e 6 cubos (altura=4cm; largura=4cm; comprimento=4cm) e ainda 6 prismas (altura=3cm; largura=3cm; comprimento=20cm) e 6 cubos (altura=7cm; largura=7cm; comprimento=7cm), que permitiram analisar e comparar as características desta pedra natural com outra utilizadas e aplicadas na RAM. Esta fase foi extremamente importante devido à falta de informação sobre esta pedra regional.

#### 4.4. Procedimentos de Ensaio

Os ensaios de caracterização realizaram-se de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 4.1.

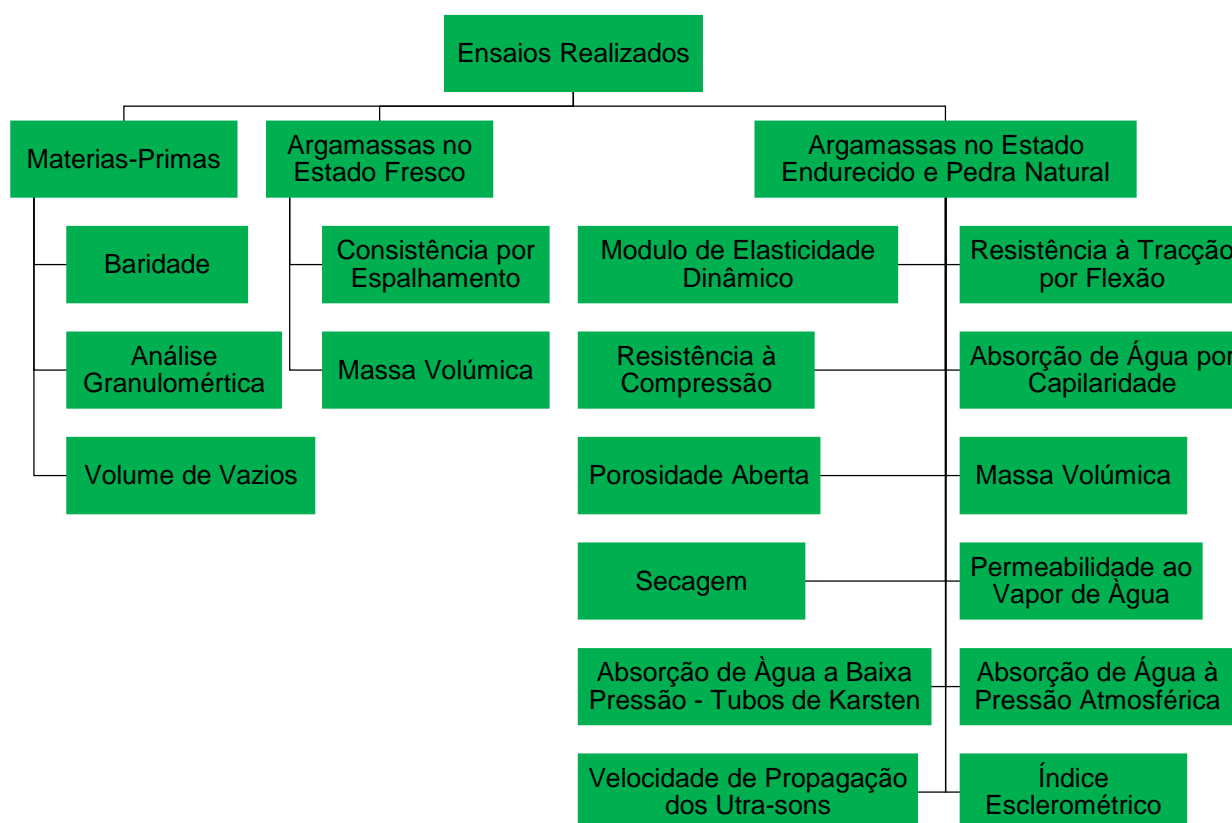


Figura 4.1 – Esquema dos ensaios realizados à argamassa e à pedra natural

## 4.5. Ensaios Relativos às Matérias-Primas

Para o melhor conhecimento da brita lavada procedeu-se à caracterização dos materiais constituintes de cada uma das formulações estudadas. Na Tabela 4.2 é possível visualizar as normas, os materiais e os respetivos ensaios utilizados na caracterização das argamassas:

*Tabela 4.2 – Normas utilizadas na realização dos ensaios aos materiais constituintes das diversas argamassas*

Norma / Ficha de Ensaio	Material	Ensaio
NP EN 933-1:2014	GM	Análise Granulométrica Por Via Seca
	GC	
	AR	
Fe 30 DEC/UNL:1999 NP EN 1097-7:2002	GM	Volume de Vazios
	GC	
	AR	
NP EN 1097-3:2002	GM	Baridade
	Pigmento Preto	
	GC	
	AR	
	Cimento	

GM – Gravelha Basáltica; GC – Gravelha Calcária; AR – Areia Siliciosa

### 4.5.1. Análise Granulométrica

A análise granulométrica de todos os agregados foi realizada de acordo com a norma NP EN 933-1 (IPQ, 2014), recorrendo aos utensílios próprios disponíveis em laboratório, como: o agitador de peneiros e os respetivos peneiros de malha quadrada; a balança; e a estufa para secar o material. Um dos principais objetivos deste ensaio consistiu em conhecer a distribuição granulométrica do agregado utilizado na realização das argamassas, determinando ainda algumas características físicas do agregado.

Colocou-se no peneiro de malha maior uma amostra do material (aproximadamente 1000g de material seco) e procedeu-se à peneiração mecânica durante 15 minutos. Devido à quantidade de peneiros utilizada no ensaio e à capacidade máxima de 7 peneiros do agitador mecânico a peneiração foi dividida em duas partes (7+7 peneiros). Os peneiros utilizados (definidos na norma E11-04 da American Society for Testing and Materials) e as duas fases da peneiração encontram-se referenciados na Tabela 4.3.

O ensaio permitiu a realização de três curvas granulométricas para as duas gravelhas (GM e GC) e para a areia de reboco (AR) utilizadas na produção das cinco argamassas. Além da curva granulométrica foi possível determinar, através deste ensaio, a máxima dimensão (D) e a mínima dimensão (d).

*Tabela 4.3 – Serie de peneiros utilizados para análise granulométrica com a primeira fase (esq.) e a segunda fase (dir.)*

Nº Peneiro	Malha [mm]	Nº Peneiro	Malha [mm]
3/8"	9,5	60	0,25
4	4,75	80	0,18
10	2	100	0,15
20	0,85	140	0,106
35	0,5	200	0,075
40	0,425	230	0,063
45	0,355	270	0,053

A fração percentual de material retida em cada peneiro é calculada através da equação 1.

$$F_{\text{retida}} = \frac{M_{\text{peneiro}}}{M_{\text{amostra}}} \times 100 \quad (1)$$

$F_{\text{retida}}$  é a percentagem retida num determinado peneiro [%];  $M_{\text{peneiro}}$  é a massa de material retido num determinado peneiro [g];  $M_{\text{amostra}}$  é a massa total de amostra ensaiada [g]. Para cada tipo de agregado foram realizados três ensaios. Os valores obtidos podem ser expressos na chamada curva granulométrica que é dada em função da abertura da malha do peneiro.

#### 4.5.2. Volume de Vazios

Neste ensaio particular recorreu-se à utilização da Ficha de Ensaio Fe 30 (DEC/UNL, 1999) e da norma NP EN 1097-7 (IPQ, 2002). Para determinar o volume de vazios utilizou-se como utensílios dois picnómetros e o respetivo tubo capilar (Figura 4.2) com capacidades iguais a  $1199.2 \pm 0.1 \text{ cm}^3$  e  $1199.7 \pm 0.2 \text{ cm}^3$  (valores obtidos em três ensaios de calibração) e uma balança (com 0,1g de precisão). Uma vez que o volume total da massa de um determinado agregado consiste no volume de partículas sólidas e no volume de vazios, ar e água, consegue-se obter o volume de vazios de cada um dos agregados utilizados na produção das argamassas.



Figura 4.2 – Dois picnómetros e o tubo capilar utilizados no cálculo do volume de vazios

Primeiro, determina-se o volume que a água ocupa dentro do picnómetro, verte-se água e pesa-se o conjunto (picnómetro+água) ( $M_1$ ), sendo possível depois determinar o volume que a água ocupa no picnómetro ( $V_1$ ), que resulta do quociente da  $M_1$  pela massa volúmica da água ( $\rho_{\text{água}}$ ). Em seguida pesa-se o material seco com vazios ( $M_{\text{mat}}$ ) e introduz-se este material dentro do picnómetro, sem água (picnómetro+material). Daqui é possível retirar o volume do material ( $V_{\text{mat}}$ ). Adiciona-se água ao picnómetro, agita-se o conjunto (picnómetro+material+água) e deixa-se repousar no mínimo 30 minutos. Depois pesa-se o conjunto (picnómetro+material+água) ( $M_t$ ). A quantidade de água total que está dentro do picnómetro ( $M_2$ ), que corresponde a  $M_t$  subtraído de  $M_{\text{mat}}$ , é transformada em volume ( $V_2$ ). Então é possível saber-se a quantidade de água que ocupa os vazios do material ( $V_3$ , em  $\text{cm}^3$ ), pela subtração de  $V_2$  a  $V_1$ . Determina-se o volume de vazios ( $V_v$ ) pela equação 2.

$$V_v = \frac{V_{\text{mat}} - V_3}{100\%} [\%]. \quad (2)$$

Uma vez obtido o valor do volume de vazios pode-se ainda obter o índice de vazios ( $e$ ), pela equação 3.

$$e = \frac{V_v}{V_s}, [\%] \quad (3)$$

### 4.5.3. Baridade

Para a determinação da baridade recorreu-se à utilização da norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2002). Pode-se afirmar que a baridade de um determinado material é obtida pelo quociente da massa seca dos agregados, preenchendo um dado recipiente, pela capacidade total do recipiente. Assim sendo para a determinação da baridade recorreu-se à utilização de uma estufa ventilada, recipientes de volume conhecido e uma balança de precisão para pesar o material. Por sua vez a baridade dos materiais utilizados nas argamassas possibilita obter o traço mássico a partir do traço volumétrico, tornando rigorosa a formulação das diversas argamassas em laboratório.

Na determinação da baridade utilizaram-se dois recipientes com volume conhecido ( $V_1=748.07\pm1.19\text{cm}^3$  para a areia e a gravilha e  $V_2=464.40\pm0.61\text{cm}^3$  para o pigmento e o cimento - valores obtidos em três ensaios de calibração).

Determinou-se a baridade recorrendo à equação 4.

$$B_a = \frac{M_{\text{mat}}}{V_r} [\text{kg/m}^3] \quad (4)$$

A massa do material ( $M_{\text{mat}}$ ) é obtida através da subtração da massa do recipiente ( $M_r$ ) à massa do conjunto (recipiente+material) e  $V_r$  é o volume do recipiente.

### 4.6. Preparação dos Provates de Argamassa e de Pedra Natural

A preparação dos provates de argamassa estudados foi realizada nos laboratórios de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa (DEC/FCT-UNL). Os provates de pedra natural foram previamente preparados na RAM, cortados de acordo com as especificações das normas, e enviados para os laboratórios do DEC/FCT-UNL.

Para a produção dos provates de argamassa teve-se em consideração a NP EN 196-1 (IPQ, 2006). De modo a ser possível caracterizar as argamassas utilizou-se provates de forma prismática com as dimensões 4cmx4cmx16cm e ainda provates de forma cilíndrica com 9cm de diâmetro e 2cm de espessura. Estes provates foram produzidos com os cinco tipos de argamassa diferentes.

«Partindo de um volume médio de agregado pretendido para a amassadura em questão (limitado pela capacidade do misturador de laboratório utilizado) e multiplicando pela respetiva baridade, obtém-se a massa de agregado a utilizar na amassadura. Fazendo corresponder ao volume do agregado o traço volumétrico pretendido, obtém-se o volume dos restantes constituintes (ligantes, pigmentos). Por sua vez, em laboratório, multiplicam-se os volumes pelas correspondentes baridades para se obter a massa de cada um, necessária para a argamassa» (Faria, 2004).

Antes da preparação da argamassa, foi necessário pesar todos os materiais (sólidos) constituintes das várias amassaduras, para isso recorreu-se à utilização de uma balança com precisão de 0,1g. A argamassa foi preparada em laboratório, sendo que as quatro com agregado britado foram amassadas manualmente, apenas a argamassa corrente de reboco foi preparada mecanicamente.

Passadas quatro horas e devido aos requisitos específicos da aplicação da brita lavada, a superfície exterior dos provates cilíndricos das argamassas com agregado britado foi lavada com uma escova e água (Figura 4.3), deixando-a rugosa e semelhante ao acabamento produzido *in situ*. Os provates prismáticos, passadas vinte e quatro horas, foram desmoldados e conservados em sala condicionada a

uma temperatura de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  de humidade relativa, simulando uma temperatura e humidade relativa similar à encontrada na Ilha da Madeira. Depois de lavados, os provetes cilíndricos foram colocados em cura na mesma sala às mesmas condições.



Figura 4.3 – Provetes cilíndricos antes da lavagem (esq.) e após lavagem (dir.)

Para a produção dos provetes de pedra foi utilizada a pedra basáltica da RAM, não britada. Sendo os provetes produzidos a partir de uma pedra natural, alguns destes, evidenciam alguma heterogeneidade litológica e textural.

#### 4.7. Ensaios Efetuados às Argamassas no Estado Fresco

A caracterização em estado fresco foi realizada através da determinação da consistência por espalhamento e da massa volúmica. Na Tabela 4.4 é possível identificar todas as normas utilizadas na caracterização a fresco das argamassas realizadas no laboratório:

Tabela 4.4 – Normas utilizadas durante os ensaios às diferentes argamassas no estado fresco

Norma / Ficha de Ensaio	Material	Ensaio
EN 1015-3:2006	Argamassa no estado fresco	Consistência por Espalhamento
EN 1015-6:1998/A1:2006	Argamassa no estado fresco	Massa Volúmica

##### 4.7.1. Consistência por Espalhamento

O primeiro ensaio realizado em estado fresco foi o ensaio de consistência por espalhamento (Esp). A determinação deste ensaio foi realizada com base na norma EN 1015-3 (CEN, 2006). Para a realização deste ensaio, utilizou-se os seguintes equipamentos: a mesa de espalhamento, o cone, o varão de compactação e uma craveira. Este ensaio tem como principal objetivo aferir a influência que a água tem na trabalhabilidade das argamassas.

Utilizando a craveira mede-se o espalhamento da argamassa na mesa (diâmetros  $d$ , em mm) em dois eixos com direções distintas. O espalhamento ( $E_{sp}$ ) é expresso de acordo com a equação 5.

$$E_{sp} = \frac{d - 100}{100} [\text{mm}] \quad (5)$$

O valor 100 corresponde ao diâmetro interior da base do molde troncocónico, em mm.

##### 4.7.2. Massa Volúmica

Após a determinação da consistência por espalhamento procedeu-se à determinação da massa volúmica em estado fresco, com base na norma EN 1015-6:1998/A1 (CEN, 2006). Utilizou-se uma balança com precisão de 0,1g e um recipiente de volume conhecido ( $1000\text{cm}^3$ ). Este ensaio permite determinar a



massa volúmica da argamassa (em kg/m<sup>3</sup>) através do quociente entre a massa de uma amostra de material (em kg) e o volume por ela ocupado (em m<sup>3</sup>).

#### 4.8. Ensaios Efetuados às Argamassas no Estado Endurecido e à Pedra Natural

A caracterização das argamassas no estado endurecido realizou-se após a cura seca em sala condicionada. Os provetes prismáticos e cilíndricos de argamassa foram caracterizados após 45 dias da sua produção, sendo efetuados diversos ensaios com base nos documentos normativos e ainda fichas de ensaio descritas na Tabela 4.5. Para a pedra basáltica proveniente da RAM, optou-se por utilizar como guia as normas descritas e algumas fichas de ensaio visíveis na Tabela 4.6:

*Tabela 4.5 – Normas e fichas de ensaio utilizados nos ensaios realizados aos provetes prismáticos de argamassa no estado endurecido*

<b>Normas / Fichas de Ensaio</b>	<b>Argamassa</b>	<b>Ensaio</b>
EN 1015-11:2006	Provetes Prismáticos 40x40x160 [mm]	Resistência à Tração por Flexão
EN 1015-11:2006	Metade dos Provetes Prismáticos	Resistência à Compressão
NP EN 1925:2000 EN 15801:2009 1015-18:2002	Provetes Prismáticos 65 [mm]	Capilaridade
NP EN 1936:2008 Fe 02 DEC/UNL:1996	Amostra dos Provetes Prismáticos	Porosidade Aberta
NP EN 1936:2008 Fe 01 DEC/UNL:1996	Amostra dos Provetes Prismáticos	Massa Volúmica Aparente
EN 16322:2013	Provetes Prismáticos 65 [mm]	Secagem
EN 15803:2009 NP EN 1015-19/A1:2004	Provetes Cilíndricos [d=90mm e=20mm]	Permeabilidade ao Vapor de Água
16302:2013	Provetes Cilíndricos [d=90mm e=20mm]	Absorção de Água a Baixa Pressão – Tubos de Karsten

*Tabela 4.6 – Normas e fichas de ensaio utilizados nos ensaios realizados aos provetes de pedra natural proveniente da RAM*

<b>Normas / Fichas de Ensaio</b>	<b>Pedra Natural</b>	<b>Ensaio</b>
NP EN 14146:2007 Fe 08 DEC/UNL:1996	Provetes Prismáticos 30x30x200 [mm] Provetes Prismáticos 40x40x160 [mm]	Módulo de Elasticidade Dinâmico
NP EN 12372:2008	Provetes Prismáticos 30x30x200 [mm] Provetes Prismáticos 40x40x160 [mm]	Resistência à Tração por Flexão
NP EN 1926:2008	Provetes Cúbicos 70 [mm] Provetes Cúbicos 40 [mm]	Resistência à Compressão
NP EN 1936:2008 Fe 02 DEC/UNL:1996	Provetes Cúbicos 70 [mm] Provetes Cúbicos 40 [mm]	Porosidade Aberta
NP EN 1936:2008 Fe 01 DEC/UNL:1996	Provetes Cúbicos 70 [mm] Provetes Cúbicos 40 [mm]	Massa Volúmica Aparente
NP EN 13755:2008	Provetes Cúbicos 70 [mm] Provetes Cúbicos 40 [mm]	Absorção de Água à Pressão Atmosférica
NP EN 12504-4:2007	Provetes Prismáticos 40x40x160 [mm] Provetes Cúbicos 70 [mm]	Velocidade de Propagação dos Ultrassons
NP EN 12504-2:2012	Provetes Cúbicos 70 [mm]	Índice Esclerométrico

#### 4.8.1. Análise Visual - Argamassas

A análise visual foi realizada utilizando como instrumento a lupa binocular para visualizar a superfície “lavada” dos provetes cilíndricos de argamassa e uma máquina fotográfica. Os provetes são inseridos na lupa binocular Olympus SZ51 e as imagens foram captadas com uma máquina fotográfica Olympus SP – 500 UZ.

Este ensaio permitiu identificar o agregado (a sua forma, cor, dimensão e natureza), a pasta de ligante com e sem o pigmento na argamassa e alguns detalhes.

#### 4.8.2. Módulo de Elasticidade Dinâmico - Pedra Natural

Com base na norma NP EN 14146 (IPQ, 2007) e na Ficha de Ensaio Fe 08 (DEC/UNL, 1996c) determinou-se o módulo de elasticidade dinâmico da pedra basáltica, através da medição da frequência de ressonância fundamental. Para realizar este ensaio foi necessário utilizar como instrumento uma craveira para medir os provetes prismáticos, uma balança e o equipamento “Zeus Resonance Meter”.

Foi necessário medir em primeiro lugar o comprimento do provete ( $L$ ) e os lados ( $a_m$ ) e ( $b_m$ ), recorrendo à utilização da craveira, onde ( $_m$ ) representa a média de duas medições realizadas nas faces  $a$  e nas faces  $b$  de cada provete.

Depois das medições realizadas aos provetes, colocou-se os provetes na máquina, com um dos topos em contacto com a fonte emissora de vibrações e o outro topo em contacto com a unidade recetora. De modo a obter-se o valor do módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{din}$ ), basta inserir no programa de cálculo as características do provete ( $a_m$ ,  $b_m$  e  $L$ ). O programa fornece de forma direta vários valores de módulo de elasticidade dinâmico. «A frequência de ressonância longitudinal corresponde à frequência mais alta para a qual se obtém uma amplitude máxima» (Faria, 2004). O valor do módulo de elasticidade dinâmico é dado em MPa. Para cada um dos provetes obtiveram-se um mínimo de quatro valores, alternando o topo em contacto com a fonte emissora de vibrações e ainda alternando as faces de apoio. O *software* informático do equipamento determina o módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{din}$ ) através da equação 6.

$$E_{din} = (2 \times L \times f_0)^2 \times \frac{\rho}{g} \times 10^{-6} \text{ [MPa]} \quad (6)$$

$L$  é o comprimento do provete [m];  $f_0$  é a frequência de ressonância longitudinal [Hz];  $\rho$  é o peso específico [N/mm<sup>3</sup>], determinado diretamente a partir das dimensões e da massa respetiva de cada provete;  $g$  é a aceleração da gravidade (9,81m/s<sup>2</sup>).

#### 4.8.3. Resistência à Tração por Flexão - Argamassas e Pedra Natural

O ensaio de resistência à tração por flexão realizado aos provetes prismáticos de argamassa ocorreu passados 45 dias após a sua produção, realizado de acordo com a EN 1015-11 (CEN, 2006), consistiu na aplicação de uma carga a meio vão do provete até a rotura, registando nesse instante a carga máxima suportada pelo provete. No caso dos provetes prismáticos de pedra natural, estes foram ensaiados de acordo com a NP EN 12372 (IPQ, 2008) uma semana depois da sua estabilização em laboratório.

Para a execução deste ensaio, recorreu-se à utilização da máquina Zwick/Rowell, com uma célula de carga de 50kN. Para os provetes prismáticos de pedra natural com as dimensões 3cmx3cmx20cm foi necessário construir um apoio para a realização do ensaio, de modo a respeitar o descrito na norma (Figura 4.4).



*Figura 4.4 – Apoios com 150mm entre si (esq.) e sistema de ensaio à tração por flexão (dir.)*

Os apoios distam entre si  $L=10\text{cm}$ , no caso dos provetes prismáticos com as dimensões  $4\text{cm}\times 4\text{cm}\times 16\text{cm}$  e  $L=15\text{cm}$  para provetes prismáticos com as dimensões  $3\text{cm}\times 3\text{cm}\times 20\text{cm}$ .

Foi imposta uma força crescente (a uma velocidade constante de  $1\text{ mm/min}$  para os provetes de argamassa) até a rotura dos provetes. Para os provetes de pedra natural as velocidades adotadas variaram de acordo com as dimensões dos provetes. A velocidade foi obtida de acordo com a equação 7.

$$V = \frac{2 \times a \times b \times h^2}{3 \times L} \text{ [N/s]} \quad (7)$$

$a$  é a taxa de incremento da carga ( $0.25 \pm 0.05 \text{ Mpa/s}$ ),  $b$  e  $h$  são os valores do lado da secção quadrada do provete ( $4\text{cm}$  e/ou  $3\text{cm}$ ) e  $L$  é a distância entre os apoios ( $10\text{cm}$  e/ou  $15\text{cm}$ ).  $V=24\text{N/s}$  e  $V=85\text{N/s}$  foram as velocidades adotadas para os provetes prismáticos com  $3\text{cm}\times 3\text{cm}\times 20\text{cm}$  e  $4\text{cm}\times 4\text{cm}\times 16\text{cm}$ .

Antes da rotura é possível observar a força máxima à flexão aplicada no provete ( $F_f$ ). A resistência à tração por flexão é calculada utilizando a equação 8.

$$R_f = 1.5 \times \frac{F_f \times L}{b^3} \text{ [MPa]} \quad (8)$$

O valor de  $L$  é dado pela distância entre os apoios ( $10\text{cm}$  e/ou  $15\text{cm}$ ) e  $b$  é o valor do lado da secção quadrada do provete ( $4\text{cm}$  e/ou  $3\text{cm}$ ).

#### **4.8.4. Resistência à Compressão - Argamassas e Pedra Natural**

Da realização do ensaio à tração por flexão resultaram duas metades dos provetes prismáticos iniciais. Utilizou-se uma destas metades para efetuar o ensaio de resistência à compressão, seguindo a EN 1015-11 (CEN, 2006) para os provetes de argamassa e para os provetes prismáticos de pedra natural foi utilizado a NP EN 1926 (IPQ, 2000).

Para a execução do ensaio aos provetes de argamassa de reboco corrente R recorreu-se à utilização da máquina Zwick/Rowell, com uma célula de carga de  $50\text{kN}$ , com acessórios específicos para realizar ensaios de compressão. Relativamente ao ensaio aos provetes de argamassas com gravilha ( $M_p$ ,  $C_p$ ,  $M$  e  $C$ ) e aos provetes de pedra natural (PN  $4\text{cm}$  e PN  $7\text{cm}$ ) utilizou-se a prensa FORM-TEST, modelo BETA2-3000E com uma capacidade de  $3000\text{kN}$  do Laboratório de Estruturas Pesadas do DEC/FCT-UNL.

Depois deu-se o início do carregamento crescente de forma gradual a uma velocidade constante de  $2\text{mm/min}$  na máquina Zwick/Rowell e  $1\text{kN/s}$  na prensa FORM-TEST. As velocidades ( $V$ ) adotadas para o

ensaio variaram de acordo com as dimensões dos provetes associadas a uma taxa de compressão de  $1 \pm 0.5 \text{ MPa/s}$  e são determinadas pela equação 9.

$$V = 0,5 \times S \text{ [N/s]} \quad (9)$$

Na equação 9, 0,5 é o valor mínimo da taxa de compressão e A é o valor da secção transversal do provete, medida antes do ensaio.  $V=24.5 \text{ N/s}$  e  $V=8 \text{ N/s}$  foram as velocidades adotadas para os provetes cúbicos com  $7 \text{ cm} \times 7 \text{ cm}$  e  $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ . Imediatamente antes da rotura foi possível visualizar a força máxima de compressão aplicada no provete  $F_c$ , (em N). A resistência à compressão  $R_c$  (em MPa) é calculada dividindo  $F_c$  pela sessão de compressão  $S$  (em  $\text{mm}^2$ ).

#### 4.8.5. Absorção de Água por Capilaridade - Argamassas

Com o ensaio à flexão obtiveram-se duas metades de cada provete prismático. Uma dessas metades foi utilizada no ensaio de absorção de água por capilaridade. O ensaio teve por base as normas EN 15801 (CEN, 2009), NP EN 1925 (IPQ, 2000) e a EN 1015-18 (CEN, 2002). Com este ensaio determinou-se o coeficiente de capilaridade (CC), expresso em  $[\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0.5}]$ , correspondente à inclinação inicial da reta da curva de absorção capilar e ainda o seu valor assintótico (VA), que corresponde à quantidade total de água absorvida durante o ensaio, por área de absorção ( $S=4 \times 4 \text{ cm}$ ). O ensaio de capilaridade terminou quando a diferença entre duas pesagens seguidas com 24 horas de intervalo entre elas foi inferior a 0,1% da massa do provete seco.

Antes de se dar início ao ensaio retificaram-se todos os meios provetes a uma altura de 65mm, utilizando para este fim uma serra elétrica (Discoplan – TS). As quatro fases laterais dos provetes foram impermeabilizadas com resina de modo a que não ocorresse evaporação de água através delas e que a absorção de água seja unidirecional. Pesou-se os provetes antes e depois de aplicar a resina ( $m_0$ ) para uniformizar a quantidade aplicada desse produto.

Prepararam-se caixas de plástico simulando um ambiente húmido e saturado (continham água e estavam sempre fechadas) e introduziu-se lá dentro um tabuleiro sobrelevado e nivelado, onde se colocaram os provetes em contacto com uma lâmina de água de 3mm de altura. Colocou-se entre a face dos provetes e o tabuleiro uma rede de borracha de modo a garantir a absorção de água pela base. Realizaram-se várias pesagens a todos os provetes ( $m_i$ ), após 5, 10, 15 e 30 minutos e depois de hora em hora, durante 7 horas, e de 24 em 24 horas. Após a finalização do ensaio, determinou-se a massa de água absorvida através da equação 10.

$$M = \frac{m_i - m_0}{S} \text{ [kg/m}^2\text{]} \quad (10)$$

e o valor do coeficiente de capilaridade (CC), calculado através da regressão linear dos pontos iniciais da curva, correspondente à inclinação ( $m$ ) da reta obtida pela equação 11.

$$y = mx + b \quad (11)$$

#### 4.8.6. Secagem - Argamassa

O ensaio à secagem foi realizado seguindo a EN 16322 (CEN, 2013) iniciado imediatamente após finalizado o ensaio de absorção de água por capilaridade.

Antes de se proceder ao ensaio, preparam-se os provetes, tapando o topo inferior com película aderente e um elástico, deixando apenas livre o topo superior do provete (Figura 4.5). Deste modo garante-se que

a secagem apenas ocorre unidireccionalmente e pelo topo superior. As pesagens iniciais (no primeiro dia) foram realizadas de hora em hora durante 7 horas, e depois nos dias seguintes de 24 em 24 horas.

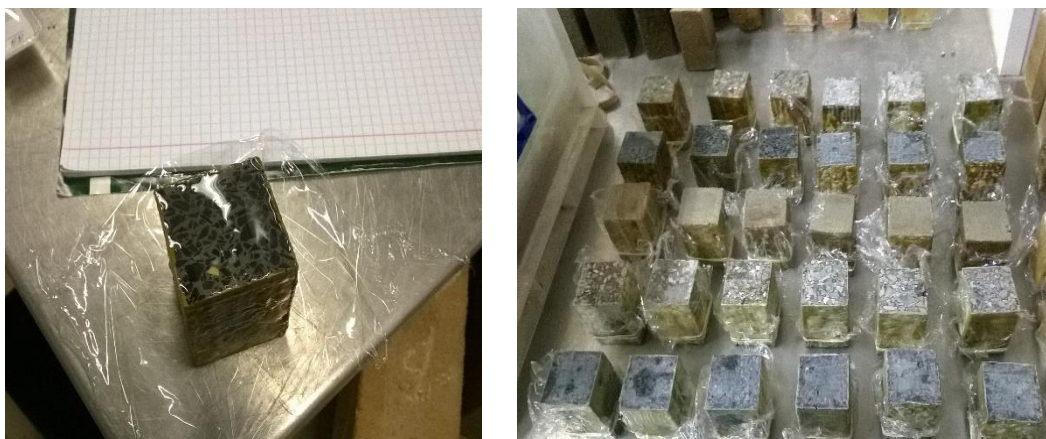


Figura 4.5 – Cobrimento da superfície inferior do provete (esq.) provetes de argamassa dispostos na bancada durante o ensaio à secagem (dir.)

Com as pesagens foi possível obter-se duas curvas de secagem: com o tempo em abcissa (ilustrando a primeira fase de secagem) e com raiz do tempo em abcissa (ilustrando a segunda fase de secagem) (Brito et al., 2011). As ordenadas das curvas de secagem são obtidas a partir da equação 12.

$$M_i = \frac{m_i - m_f}{A} \text{ [kg/m}^2\text{]} \quad (12)$$

$m_i$  é a massa do provete no instante  $i$ ,  $m_f$  é a massa do provete no final do ensaio à secagem e  $M_i$  é a quantidade de água residual no provete de argamassa para um determinado instante de tempo  $i$ .

A taxa de secagem para a primeira fase do ensaio (TS1) é o declive inicial do troço reto da curva de secagem, em função do tempo [h], e a taxa de secagem para a segunda fase do ensaio (TS2) é o declive do troço reto da curva de secagem (da fase 2 de secagem) em função da raiz do tempo em horas [h<sup>1/2</sup>]. Os resultados deste ensaio são assim expressos através das taxas de secagem nas fases 1 e 2 de secagem (TS1) e TS2), permitindo aferir qual a rapidez de secagem de cada argamassa nas duas fases iniciais de secagem, e ainda através do índice de secagem (IS), aferindo a capacidade de secagem total. Foi utilizada uma balança com precisão de 0,001g.

O índice de secagem é determinado a partir da equação 13 (CEN, 2013).

$$IS = \frac{\int_{t_i}^{t_f} M_i dt}{M_{\max} \times t_f} \quad (13)$$

Nesta equação  $t_i$  é o tempo do ensaio  $i$ , em horas;  $t_f$  é o tempo final do ensaio, em horas;  $M_i$  é a quantidade de água residual no provete de argamassa para um determinado instante de tempo  $i$ , em [kg/m<sup>2</sup>], relativamente à massa seca;  $M_{\max}$  é a quantidade de água inicial, em [kg/m<sup>2</sup>] relativamente à massa seca.

A equação 13 foi simplificada para a equação 14 (Grilo et al., 2014).

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left[ (t_i - t_{i-1}) \times \left( \frac{Mt_{i-1} + Mt_i}{2} \right) \right]}{M_{\max} \times t_f} \quad (14)$$

#### 4.8.7. Porosidade Aberta e Massa Volúmica Aparente - Argamassas e Pedra Natural

A determinação da porosidade aberta e da massa volúmica aparente das argamassas e da pedra natural foi realizada de acordo com os procedimentos definidos na NP EN 1936 (IPQ, 2008), com o descrito na Fe 01 (DEC/UNL, 1996a) e na Fe 02 (DEC/UNL, 1996b). Foi necessária a utilização: de uma balança de precisão 0,001g, um exsicador ligado a um tubo de introdução de água e uma bomba de vácuo. Para os provetes de pedra natural foram utilizados os provetes cúbicos (7cm e 4cm). No caso das argamassas foram utilizados topos de provetes prismáticos, com dimensão média 40x40x20mm. Estes provetes resultaram de partes íntegras após o ensaio de compressão.

Pesaram-se os provetes numa balança ( $m_0$ ) e colocaram-se dentro de um exsicador (ligado a um tubo de introdução de água e uma bomba de vácuo). Fechou-se a tampa superior e ligou-se a bomba de vácuo (reduzindo a pressão) durante 24 horas. Passadas 24 horas, introduziu-se água no exsicador (mantendo as condições de vácuo) até todos os provetes ficarem submersos, criando assim um estado de pressão reduzida e imersão por mais 24 horas. Passadas 48 horas desde o início do ensaio, desligou-se a bomba de vácuo, passando os provetes da pressão reduzida para a pressão atmosférica, mantendo a condição de imersão durante mais 24 horas. Decorrido este período de 72 horas cada provete foi retirado do exsicador e imediatamente pesado em imersão (utilizando um “cesto” acoplado por baixo da balança), registando a sua massa imersa ( $m_{im}$ ). Em seguida efetuou-se a pesagem fora de água mas com o provete ainda saturado em água ( $m_{sat}$ ). Finalmente realizou-se o cálculo da porosidade aberta através da equação 15.

$$P_{ab} = \frac{m_{sat} - m_0}{m_{sat} - m_{im}} [\%] \quad (15)$$

Na determinação da massa volúmica utilizou-se a equação 16.

$$M_{vap} = \frac{m_0}{m_{sat} - m_{im}} [kg/m^3] \quad (16)$$

#### 4.8.8. Permeabilidade ao Vapor de Água - Argamassas

A determinação da permeabilidade à água das argamassas teve por base as normas EN 15803 (CEN, 2009) e NP EN 1015-19/A1 (IPQ, 2004). Para a realização deste ensaio utilizou-se uma câmara climática à temperatura de 23°C e 50% de humidade relativa (HR). Uma balança com precisão de 0,001g e cápsulas de ensaio, onde estabeleceu-se um ambiente saturado em HR dentro das cápsulas. O ensaio teve como objetivo determinar a permeabilidade ao vapor de água, «a partir do conhecimento das quantidades de vapor de água difundidas através da espessura de provetes do material colocado entre dois ambientes com condições higrotérmicas diferentes e conhecidas» (Faria, 2004).

Para a realização do ensaio utilizou-se o método da cápsula húmida. Dentro da cápsula de medição adicionou-se água (1cm no interior de cada cápsula) para criar um ambiente saturado (HR interior=100%) com um algodão para reduzir a probabilidade da água tocar no provete quando este é manuseado durante as pesagens. Depois colocou-se o provete na cápsula, aplicando por fim o aro de plástico, que define a área de influência da cápsula, isolando o provete com silicone de modo a não ocorrerem fugas durante o ensaio. Depois dos provetes serem inseridos nas cápsulas, foi registado a sua massa inicial ( $m_0$ ). Os conjuntos (cápsula+provetes) foram depois introduzidos na câmara climática (Figura 4.6).



*Figura 4.6 – Ensaio de permeabilidade ao vapor de água, realizado aos provetes de argamassa, utilizando a câmara climática*

Diariamente foi feito o registo da massa dos provetes e da hora da pesagem, com a finalidade de determinar a quantidade de água difundida através do provete. O ensaio terminou após realização de um mínimo de cinco pesagens em regime estacionário, «quando a quantidade de vapor de água que atravessa o provete na unidade de tempo for constante» (Faria, 2004). Para averiguar tal acontecimento recorreu-se à elaboração de um gráfico que apresentasse uma variação da massa em função do tempo, de modo a ser possível visualizar-se a altura em que a curva tendia para um valor assintótico (formar uma reta).

Após a finalização do ensaio procedeu-se ao cálculo da permeância ao vapor de água pela equação 17.

$$W_p = \frac{G}{A \times \Delta P} \text{ [kg/m}^2\text{.s.Pa]} \quad (17)$$

$G$  é o fluxo de vapor de água por unidade de tempo, dado pelo quociente da quantidade de vapor de água que atravessa o provete por unidade de tempo [kg/s]. Esse valor foi calculado através da regressão linear de 5 pontos seguidos do gráfico, correspondente à inclinação ( $m$ ) da reta obtida através da equação 11.  $A$  é a área superficial de ensaio do provete [ $m^2$ ];  $\Delta P$  é o diferencial de pressão do vapor de água entre os dois lados do provete [Pa]. O diferencial de pressão do vapor de água entre os dois lados do provete é dado pela equação 18.

$$\Delta P = P_s \times \left(1 - \frac{HR}{100}\right) \text{ [Pa]} \quad (18)$$

$P_s$  é dado em função da temperatura da camara climática que neste caso é 23°C, o que significa que  $P_s=2806$  e o valor de  $HR=50\%$ .

Segue-se o cálculo da permeabilidade ao vapor de água através da equação 19.

$$= W_p \times e \text{ [kg/m.s.Pa]} \quad (19)$$

Nesta equação  $e$  é o valor de espessura do provete [m] e  $W_p$  é o valor da permeância ao vapor de água [kg/m<sup>2</sup>.s.Pa], dado através da equação 17.

Por fim obteve-se a espessura da camada de ar de difusão equivalente através da equação 20.

$$S_d = \mu \times e \text{ [m]} \quad (20)$$

O fator de resistência à difusão do vapor de água  $\mu$  é dado pela relação entre a permeabilidade do ar ( $\delta_a$ ) e a permeabilidade do material a ensaiar ( $\delta_p$ ), obtido através da equação 21.



$$\mu = \frac{\delta_a}{\delta_p} [-] \quad (21)$$

#### 4.8.9. Absorção de Água a Baixa Pressão: Tubos de Karsten - Argamassas

A capacidade de absorção de água sob baixa pressão, simulando absorção de água da chuva por uma argamassa, é uma característica física importante. Para a realização deste ensaio utilizaram-se tubos de Karsten vedados com plasticina e um cronómetro digital. Para este ensaio recorreu-se à norma EN 16302 (CEN, 2013). Antes da realização do ensaio todos os provetes foram introduzidos numa estufa ventilada (60°C) até atingirem massa constante.

O ensaio de absorção de água a baixa pressão com recurso aos tubos de Karsten teve como principal objetivo determinar a velocidade de absorção e a quantidade de água absorvida das argamassas, durante 60 minutos.

Começou-se por fixar e vedar o tubo de Karsten com plasticina. Uma vez fixados e isolados procedeu-se ao ensaio, introduzindo água no tubo (4ml) e com o cronómetro realizou-se a medição do tempo necessário para absorver 4ml de água (Figura 4.7), durante os primeiros 10 minutos de um em um minuto (1, 2, 3,...10min) e depois até aos 60 minutos, de cinco em cinco minutos (15, 20,...60min) sendo necessário em algumas vezes repor a água no tubo e aferindo-se as respetivas quantidades de água absorvidas.



*Figura 4.7 – Ensaio de absorção de água a baixa pressão, realizado aos provetes de argamassa, utilizando os tubos de karsten vedados com plasticina*

A coluna de água dentro do tubo tem uma altura de 9,8 cm, medido desde o início da gradiação até o centro do provete cilíndrico, exercendo uma pressão na superfície da argamassa de 961,38 Pa – esta pressão é correspondente à pressão exercida pelas gotas de água atingindo a parede a uma velocidade de 140 km/h, perpendicular à superfície (Van Hees et al., 1996).

Após a finalização do ensaio foi possível determinar a quantidade de água absorvida por unidade de área ao longo do tempo  $W_i$  através da equação 22.

$$W_i = \frac{Q_i}{A} [\text{ml}/\text{cm}^2] \quad (22)$$

Nesta equação  $Q_i$  é a quantidade de água absorvida num determinado instante de tempo  $t_i$  [ml] e  $A$  é a área do ensaio (4,91cm<sup>2</sup>).



#### 4.8.10. Absorção de Água à Pressão Atmosférica - Pedra Natural

O ensaio teve por base a NP EN 13755 (IPQ, 2008), tendo como objetivo determinar a absorção de água à pressão atmosférica dos provetes de pedra natural da RAM (Figura 4.8). Para este ensaio utilizou-se uma balança (precisão de 0,001g), um recipiente com água e provetes cúbicos com as dimensões 7cm e 4cm.



Figura 4.8 – Ensaio de absorção de água à pressão atmosférica, realizado aos provetes de pedra natural: cubicos 4cm (esq.) e cubicos 7cm (dir.)

Em primeiro lugar determinou-se a massa seca de cada provete ( $m_d$ ), depois introduziu-se cada um dos provetes dentro de um recipiente. Posteriormente foi introduzida água dentro do recipiente até  $\frac{1}{2}$  da altura dos provetes ( $t_0$ ). Passados  $t_0+60$  minutos colocou-se mais água dentro do recipiente até  $\frac{3}{4}$  da altura dos provetes. Decorridos  $t_0+120$  minutos colocou-se água a 25mm acima da altura dos provetes, ficando assim imersos. Após  $t_0+48$  horas realizou-se a primeira pesagem do provete saturado, depois realizaram-se pesagens a cada 24 horas, até se atingir massa constante (0,1%). A última pesagem forneceu a massa do provete saturado ( $m_s$ ). Para determinar a absorção de água à pressão atmosférica utiliza-se a equação 23.

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100 \text{ [%]} \quad (23)$$

O valor de  $m_s$  foi obtido passadas  $t_0+72$  horas.

#### 4.8.11. Velocidade de Propagação dos Ultrassons - Pedra Natural

O ensaio teve por base a NP EN 12504-4 (IPQ, 2007), tendo como objetivo determinar a velocidade de propagação dos ultrassons dos provetes de pedra natural da RAM. Para este ensaio utilizou-se o equipamento de teste ultrassônico Pundit Lab – Proceq (Figura 4.9), uma craveira e os provetes cúbicos 7cm e prismáticos 4cmx4cmx16cm.

Em primeiro lugar determinaram-se as dimensões dos provetes a ensaiar, nomeadamente a secção transversal ( $s_{us}$ ) à propagação das ondas ultrassónicas e o comprimento dos provetes que é a distância percorrida pelas ondas ultrassónicas ( $d_{us}$ ). Em seguida determinou-se, com recurso ao equipamento de ensaio, o tempo de propagação da onda ultrassónica ou tempo de trânsito ( $t_{us}$ ). Para saber-se a velocidade de propagação dos ultrassons ou velocidade de pulso ( $V_{us}$ ) basta utilizar a equação 24.

$$V_{us} = \frac{d_{us}}{t_{us}} \times 10^6 \text{ [m/s]} \quad (24)$$



*Figura 4.9 – Equipamento de teste ultrassónico Pudit Lab com os provetes prismáticos de pedra natural 4cmx4cmx16cm*

#### **4.8.12. Índice Esclerométrico - Pedra Natural**

O ensaio teve por base a NP EN 12504-2 (IPQ, 2012), tendo como objetivo determinar o índice esclerométrico dos provetes de pedra natural da RAM. Neste ensaio utilizou-se um esclerómetro pendular PT e provetes cúbicos com as dimensões 7cm.

Este ensaio permite estimar a resistência dos provetes de PN utilizando o índice esclerométrico ( $I_{esc}$ ), para isso colocaram-se os provetes de PN na parede de reação do laboratório de Estruturas Pesadas do DEC/FCT-UNL (Figura 4.10). Foram realizados a cada um dos provetes 6 medições (em cada uma das faces), tendo sempre o cuidado de colocar o esclerómetro na posição adequada (perpendicular à superfície analisada). Depois solta-se o pêndulo (através de um gatilho), este bate na superfície do provete e obtém-se o valor do ressalto (índice esclerométrico).



*Figura 4.10 – Esclerometro pendular PT e ensaio da pedra contra a parede de reação do laboratório EP - antes do ensaio (esq.) e depois do ensaio (dir.)*

## 5. Resultados e Discussão

### 5.1. Enquadramento

Neste capítulo são apresentados os resultados da caracterização da brita lavada tradicional, por comparação com as várias argamassas estudadas, e ainda uma síntese da caracterização da pedra basáltica que origina o agregado utilizado na produção da brita lavada. Foi realizada uma comparação entre as argamassas estudadas com base nos procedimentos de ensaio apresentados no Capítulo 4.

A caracterização da pedra foi efetuada após a finalização de toda a campanha experimental, descrita no Capítulo 4, sendo depois possível a comparação com valores obtidos por outros autores que realizaram estudos sobre pedras naturais existentes na RAM (Silva et al., 2002) e em Portugal (Casal Moura et al., 2000).

Não existem muitos trabalhos científicos que se focam neste tipo de argamassas; no entanto, existem alguns estudos que abordam as propriedades de betão e argamassas cimentícias coloridas, examinando a influência de vários pigmentos inorgânicos, em termos da consistência em estado fresco (Lee, et al. 2005) e ainda analisando as propriedades físicas e mecânicas (Mowat e Symons, 1981; Buchner, 1991).

### 5.2. Caracterização dos Constituintes das Argamassas

Para a caracterização dos constituintes das argamassas foram realizados 3 ensaios (análise granulométrica, volume de vazios e baridade). Realizaram-se 3 ensaios de análise granulométrica a cada um dos agregados (2 gravilhas e 1 areia), utilizando cerca 1kg de amostra do material. Na Figura 5.1 é possível visualizar as curvas granulométricas das duas gravilhas (GM e GC) e da areia de reboco (AR) utilizadas na produção das 5 argamassas.

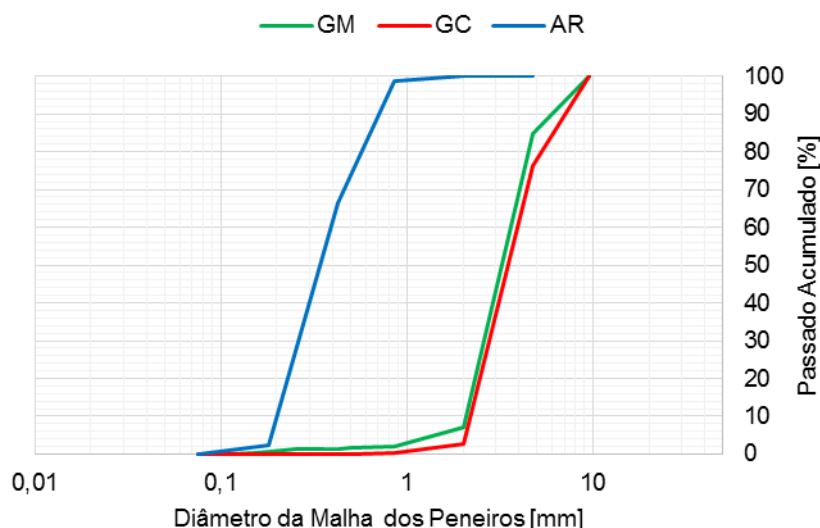


Figura 5.1 – Curva granulométrica dos três agregados utilizados na realização das argamassas

Determinou-se a máxima dimensão do agregado ( $D$ ), que é definida pela malha do peneiro de menor dimensão pelo qual passa uma percentagem superior ou igual a 90% da massa total da amostra, e a mínima dimensão do agregado ( $d$ ), definida pela malha de maior dimensão pela qual passa uma percentagem inferior ou igual a 5% (Faria, 2004).

Através da Figura 5.1 pode-se observar que a máxima dimensão do agregado D de ambas as gravilhas não representa um valor “real”. Para o caso da GM e da GC, o primeiro peneiro onde ficou retido material (15.24% e 23.70% respetivamente) foi o de abertura 4.75mm e os valores de material passado acumulado foram 84.76% e 76.30% respetivamente. Sabe-se que a máxima dimensão do agregado corresponderia ao peneiro de abertura 9.5mm; no entanto não ficou retida qualquer quantidade de material neste peneiro, pelo que a afirmação  $D=9.5\text{mm}$  é errada. Tendo isto em consideração optou-se por calcular a máxima dimensão do agregado utilizando outro método, no caso o de Faury. «O método de Faury baseia-se no pressuposto de que a tendência de variação da dimensão das partículas se mantém acima do primeiro peneiro no qual fica retido material, o que pode não ocorrer. No entanto, para casos em que exista uma fração significativa de partículas de grandes dimensões, a máxima dimensão de Faury pode melhor representar o material» (Rato, 2006).

Segundo Faury a máxima dimensão do agregado é dada pela equação 25.

$$D_F = d_1 + (d_1 - d_2) \times \frac{r_1}{r_2} \quad (25)$$

$d_1$  é a abertura do peneiro onde fica retido a primeira quantidade de material,  $d_2$  é a abertura do peneiro seguinte a  $d_1$ ,  $r_1$  é a percentagem de material retido em  $d_1$  e  $r_2$  é a percentagem de material retido em  $d_2$ .

Outras diferenças evidentes identificadas no ensaio foram a percentagem de material grosso, médio e fino. Através da Tabela 5.1 pode-se analisar a percentagem de material grosseiro (peneiros nº4 e 10), médio (peneiros nº20 e 35) e fino (peneiro nº40, 45, 60, 80, 100, 140, 200, 230, 270, 325 e 400) e ainda os valores de D,  $D_F$  e d das duas gravilhas.

*Tabela 5.1 – Valores percentuais de material grosso, médio e fino para cada gravilha e ainda os valores de máxima dimensão (D), máxima dimensão de Faury ( $D_F$ ) e mínima dimensão (d)*

Agregados	Grossos [%]	Médios [%]	Finos [%]	D [mm]	$D_F$ [mm]	d [mm]
GM	92,81	5,58	1,61	9,5	5,20	0,85
GC	97,43	2,41	0,16	9,5	5,42	2
AR	---	---	---	0,85	0,86	0,18

Os agregados utilizados nas argamassas Mp e M apresentam maior percentagem de material fino e material médio quando comparados com os agregados utilizados nas argamassas Cp e C. Os valores de máxima dimensão de Faury são semelhantes ( $D_F$ ). O agregado GC apresenta maior percentagem de material grosseiro e valor superior de mínima dimensão (d) quando comparado com GM.

Relativamente aos ensaios de baridade ( $B_a$ ) e volume de vazios ( $V_v$ ) têm-se na Tabela 5.2 os respetivos valores e ainda o índice de vazios (e).

*Tabela 5.2 – Valores de baridade, volume de vazios e índice de vazios*

Agregados	$B_a$ [Kg/dm <sup>3</sup> ]	$V_v$ [%]	e [-]
GM	1,42	30	0,51
GC	1,39	29	0,48
AR	1,47	32	0,44

É possível observar que a argamassa Mp e M apresentam agregados com maior  $V_v$ , maior e, maior baridade face às argamassas Cp e C. De acordo com Braja (2008), o índice de vazios obtido durante a campanha experimental para ambas as gravilha deverá estar entre 0,30 e 0,60 e para a areia siliciosa

deverá estar entre 0,33 e 0,98. Os valores determinados (Tabela 5.2) correspondem à gama de valores descritos anteriormente.

Nos sub-capítulos que se segue será realizada uma análise físico-mecânica às argamassas averiguando as diferenças entre os dois tipos de agregados utilizados. Saraya (2014) afirma que argamassas com agregados basálticos demonstram melhores propriedades físico-mecânicas quando comparados com argamassas que contêm na sua composição agregados calcários.

Após a determinação da baridade do cimento, da gravilha basáltica e do pigmento em laboratório foi assim possível obter-se o traço volumétrico da brita lavada, definindo a formulação Mp. Na Tabela 5.3 é possível aferir as designações das distintas argamassas, os respetivos traços mássicos e volumétricos e a relação água/cimento de cada argamassa.

*Tabela 5.3 – Designação, traços em massa e em volume e relação água/ligante das argamassas*

Argamassa	Massa				Volume				Água/Cimento [ml/g]
	Cimento	Gravilha	Areia	Pigmento	Cimento	Gravilha	Areia	Pigmento	
Mp	1	2,13	---	0,015	1	1,73	---	0,023	0,43
Cp	1	2,08	---	0,015	1	1,73	---	0,023	0,42
M	1	2,13	---	---	1	1,73	---	---	0,43
C	1	2,08	---	---	1	1,73	---	---	0,42
R	1	---	5,64	---	1	---	4,42	---	0,99

Analisando a Tabela 5.3 visualiza-se que a argamassa Cp apresenta um traço volúmico igual à argamassa Mp, com a diferença do tipo de agregado. Esta gravilha foi selecionada para a mistura de modo a poder-se avaliar a influência do agregado na argamassa. A gravilha do Continente (GC) apresenta uma granulometria similar à GM, mas a sua natureza é diferente.

As argamassas M e C são de todo equivalentes em traço volúmcicos às formulações Mp e Cp respetivamente. A única alteração é que as formulações M e C não contêm o pigmento.

A argamassa R tem um traço característico da RAM para reboco. O seu traço mássico foi realizado de acordo com as entrevistas realizadas ao Mestre Pedreiro Manuel Alves e, após a determinação da baridade da areia, foi possível obter-se o seu traço volúmico. A realização desta formulação irá permitir avaliar e comparar estas duas argamassas que nos edifícios estão em contacto uma com a outra (Figura 5.2).

A determinação do traço foi calculado da seguinte forma: “fazemos uma massa para rebocar uma parede com 4 baldes grandes de areia e 1 saco de 50kg de cimento”. Sabendo que 1 “balde grande” leva 4 “baldes pequenos” e que o volume de 1 balde pequeno é de 12 litros, logo, 1 “balde grande” tem uma capacidade volúmica de 48 litros. De acordo com os trabalhadores, utilizam 1 saco de cimento Portland de 50kg para 4 “baldes grandes”, ou seja, 50kg de cimento Portland e 192 litros de areia.



*Figura 5.2 – Parede com brita lavada e juntas com argamassa de reboco tradicional*

Para as cinco formulações descritas na Tabela 5.4 é possível visualizar as quantidades mássicas dos agregados em percentagem utilizada em cada amassadura.

*Tabela 5.4 – Percentagens mássicas de cada formulação utilizada para cada argamassa*

Percentagens de Material - Massa				
Argamassa	Cimento [%]	Gravilha [%]	Areia [%]	Pigmento [%]
Mp	31,81	67,71	---	0,49
Cp	32,28	67,23	---	0,49
M	31,96	68,04	---	---
C	32,44	67,56	---	---
R	15,06	---	84,94	---

As percentagens de cimento para as argamassas com gravilha na sua composição mantiveram-se sempre iguais, e o mesmo se pode constatar relativamente à percentagem de agregado. A quantidade de pigmento tanto para a Mp como para Cp foi de 0,5%. Pode-se ainda notar que a percentagem de agregado (areia) utilizado na formulação R é superior do que a utilizada nas outras formulações.

Relativamente à quantidade de água utilizada na amassadura, adicionou-se água suficiente de acordo com a consistência da argamassa realizada em obra. «A quantidade de água adicionada tem que ser a necessária para permitir que as argamassas possam ser aplicadas, já que tem que facilitar a maneabilidade e a trabalhabilidade. De qualquer forma, se for em quantidade excessiva afeta negativamente a porosidade, a compacidade, a permeabilidade, diminuindo a resistência mecânica e aumentando a retração» (Margalha, 1997).

### **5.3. Análise dos Resultados - Argamassas**

#### **5.3.1. Caracterização das Argamassas no Estado Fresco**

A relação água/ligante foi definida em laboratório de modo a obter-se uma consistência semelhante à encontrada em obra, entre 20% a 40% para uma brita lavada utilizada como reboco de paredes. Para tal utilizou-se a mesma quantidade de água (800ml) para as argamassas com gravilha (Mp, Cp, M, C) e 700ml de água para a argamassa de reboco com areia (R). Na Tabela 5.5 visualiza-se os valores determinados em laboratório para as argamassas em estado fresco.



Tabela 5.5 – Resultados obtidos nos ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco

Argamassa	Quantidade de água [ml]	Água/Ligante [ml/g]	Consistência por Espalhamento [mm]	Massa Volúmica [kg/dm <sup>3</sup> ]
Mp	800	0,43	122	2,32
Cp	800	0,42	137	2,25
M	800	0,43	122	2,34
C	800	0,42	140	2,22
R	700	0,99	146	1,95

Analisando a tabela pode-se afirmar que a quantidade de água e a relação água/ligante são muito semelhantes entre todas as argamassas; o valor apenas difere para R. Durante a amassadura manual das argamassas notou-se que as argamassas com gravilha na sua composição apresentaram pouca trabalhabilidade e, por consequência, menor consistência por espalhamento [mm]. No que diz respeito à consistência por espalhamento, os valores obtidos para Mp e M são em tudo idênticos; relativamente a Cp e C os valores variam cerca de 3,25mm. De modo geral quando é adicionado 0,5% de pigmento preto às argamassas é notória uma ligeira diminuição da trabalhabilidade, diminuindo o valor de  $E_{sp}$  em 3% para as argamassas com gravilha calcária na sua constituição, enquanto que para as argamassas com gravilha basáltica o valor  $E_{sp}$  foi constante. A forma esférica e as partículas de pequeno tamanho do pigmento preto não aumentaram a fluidez e a trabalhabilidade das argamassas cimentícias como esperado (Gunter, 1993; Peter, 1988).

A massa volúmica em estado fresco é semelhante para todas as argamassas; no entanto as argamassas que contêm basalto na sua composição apresentaram massa volúmica um pouco superior – associado ao facto da gravilha basáltica apresentar maior baridade e ainda, possivelmente, à estabilidade apresentada pelo agregado basáltico quando aplicado em argamassas e betões versus a areia siliciosa e a gravilha calcária (Song, 2009; Gunter, 1993).

A geometria angular e alongada da gravilha, combinada com a superfície rugosa, tem uma influência negativa na trabalhabilidade das argamassas – os agregados basálticos são caracterizados por serem aguçados, proveniente da britagem da pedra natural basáltica, absorvendo mais água devido a uma maior área superficial (Laibao et al., 2013).

### 5.3.2. Caracterização Visual das Argamassas

Não foi visível qualquer retração quando os provetes prismáticos foram desmoldados. Apresenta-se na Figura 5.3 o resultado da análise visual da superfície dos provetes cilíndricos com a lupa binocular. De acordo com Halamickova e Delwiler (1995) as zonas de transmissão porosas formadas na interface agregados-pasta de cimento (Figura 5.3) afeta as argamassas em termos de porosidade e permeabilidade e Brás et al. (2013) refere ainda que a pasta de cimento é responsável pela existência de micro-poros na microestrutura da argamassa, que permite o aumento da absorção de água por capilaridade.

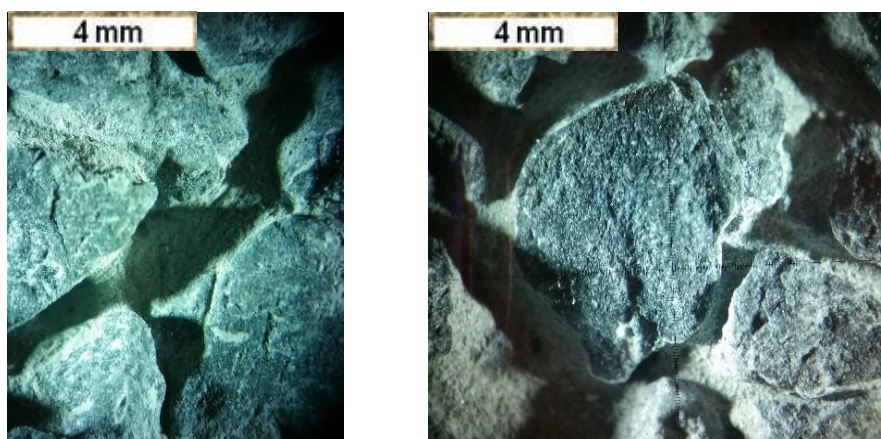


Figura 5.3 – Superfície do provete da brita lavada onde é possível visualizar com maior detalhe a zona de mistura do ligante com o pigmento (esq.) e o agregado (dir.)

### 5.3.3. Caracterização Mecânica das Argamassas

Para a caracterização mecânica das argamassas ter-se-á em consideração os valores obtidos nos ensaios: de resistência à compressão ( $R_c$ ), e de resistência à tração por flexão ( $R_f$ ).

Na Tabela 5.6 é possível visualizar os valores de tensão e compressão máxima quando submetidos a um esforço de flexão e compressão, respetivamente:

Tabela 5.6 – Resistência à tração por flexão e à compressão das argamassas

Argamassas	$R_f$ [MPa]		$R_c$ [MPa]	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Mp	5,27	0,21	32,04	4,51
Cp	4,01	0,50	22,81	5,18
M	4,35	0,50	26,76	2,73
C	4,06	0,41	26,46	2,81
R	1,37	0,19	5,24	0,30

Logo de partida é esperado que os valores de resistência mecânica sejam maiores para as argamassas que contêm gravilha na sua constituição e menores para a argamassa com areia. Quando se comparam os valores obtidos no ensaio à compressão ( $R_c$ ) e no ensaio à tração por flexão ( $R_f$ ) das argamassas M e C observa-se que são muito semelhantes: são argamassas com o mesmo traço mássico, mesmo ligante mas com agregados diferentes. O mesmo não se verifica comparando as argamassas Mp e Cp que são argamassas com o mesmo traço mássico, mesmo ligante, agregados diferentes e têm na sua composição 0,5% de pigmento. A argamassa Mp apresenta os maiores valores de resistência mecânica. Os resultados obtidos para a argamassa R estão de acordo com os estudos de Faria e Henriques (2004).

Hendges et al. (2004) e Alencar (2005) atribuem uma queda na resistência mecânica no betão quando é adicionado pigmento devido ao aumento da superfície específica, aumentando por consequência a necessidade de água na amassadura. Mas em contra partida adicionando pigmento pode tornar a matriz da argamassa mais compacta, aumentando a resistência mecânica. Uma vez que a quantidade de pigmento adicionada foi reduzida (0,5%) não foi notória a necessidade de adicionar mais água à argamassa aquando a sua amassadura. No caso da brita lavada realizada durante a campanha experimental a quantidade de água adicionada à argamassa foi a mesma, tanto para as argamassas com gravilha sem pigmento (M e C) como para as argamassas com pigmento (Mp e Cp).



Quando comparado com M nota-se que, com a introdução de 0,5% de óxido de ferro na argamassa, têm-se um aumento de 17% e de 16% em termos de resistência à flexão e resistência à compressão respetivamente. Quando se compara Cp e C a adição de pigmento resulta num decréscimo de 1% e 14% em termos de resistência à flexão e resistência à compressão, respetivamente. Pode-se concluir que o pigmento reage de maneira diferente na presença de agregados de natureza diferente, ganhos para agregados basálticos (GM) e perdas para agregados calcários (GC) em termos de resistência mecânica.

Outros fatores a ter em conta na caracterização mecânica das argamassas serão os fatores físicos, nomeadamente a  $P_{ab}$  das argamassas que poderá, de forma direta, influenciar as resistências mecânicas.

#### 5.3.4. Caracterização Física das Argamassas

De modo a realizar-se uma completa análise às propriedades físicas da brita lavada foi necessário, além da comparação entre as diversas argamassas estudadas, a comparação entre outros estudos que retratam este tipo de argamassa.

A caracterização física das argamassas será realizada tendo em consideração os resultados obtidos nos ensaios: de porosidade aberta, de massa volúmica aparente, de absorção de água por capilaridade, de secagem, de permeabilidade ao vapor de água, e de absorção de água a baixa pressão. Os ensaios permitiram avaliar a microestrutura das argamassas e ainda o seu comportamento face à água. Para cada um dos ensaios foram obtidos valores médios de 6 provetes para 5 argamassas diferentes,

A porosidade aberta das argamassas é apresentada na Tabela 5.7. Todas as argamassas estudadas apresentam valores de porosidade aberta ( $P_{ab}$ ) semelhante, sendo que, a adição de 0,5% de pigmento nas argamassas Mp e Cp não tiveram qualquer influência significativa em termos de  $P_{ab}$ , quando comparados com as argamassas M e C, respetivamente. A pequena diferença nos valores de  $P_{ab}$  de certo modo está relacionada com as propriedades do agregado, nomeadamente o seu volume de vazios, e ainda com a quantidade de ligante utilizado nas argamassas. «Granulometrias mais finas normalmente apresentam maiores valores de volume de vazios, traduzindo-se num maior valor de porosidade aberta. Por outro lado, se fosse considerado que os espaços entre as partículas de agregado seriam uniformemente ocupados pela matriz de ligante, as variações de porosidade aberta dependeriam ainda da quantidade de ligante utilizada no fabrico de cada argamassa» (Rato, 2006). No caso do agregado utilizado para as argamassas Mp e M têm-se um  $V_v$  de 30% e obtiveram-se  $P_{ab}$  de 20,2% e 20,6% respetivamente, para as argamassas Cp e C têm-se um  $V_v$  de 29% e obtiveram-se  $P_{ab}$  de 18,1% e de 18,1%. Nestas 4 argamassas (Mp, Cp, M e C) utilizou-se o mesmo traço volumétrico, sendo que, a quantidade de ligante utilizada foi a mesma. No caso da argamassa R esta apresenta um  $V_v$  de 32% e uma  $P_{ab}$  de 21% e utilizou-se uma menor quantidade de ligante na sua composição.

*Tabela 5.7 – Porosidade aberta, massa volúmica aparente, coeficiente de capilaridade, valor assintótico, taxa de secagem da fase 1 e taxa de secagem da fase 2 e índice de secagem das argamassas.*

Arg.	$P_{ab}$ [%]	$M_{vap}$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	CC [kg/m <sup>2</sup> .s <sup>0.5</sup> ]	VA [kg/m <sup>2</sup> ]	TS1 [kg/m <sup>2</sup> h]	TS2 [kg/m <sup>2</sup> h <sup>1/2</sup> ]	IS [-]
Mp	20,1±0,25	2,20±7,15	0,49±0,02	13,36±0,25	0,093±0,02	0,253±0,01	0,24±0,02
Cp	18,1±0,38	2,13±13,63	0,33±0,03	12,49±0,31	0,086±0,01	0,254±0,02	0,25±0,01
M	20,6±0,32	2,18±3,63	0,58±0,02	13,49±0,29	0,084±0,01	0,244±0,01	0,25±0,01
C	18,1±0,29	2,11±14,08	0,44±0,02	12,56±0,39	0,084±0,01	0,263±0,02	0,24±0,01
R	21,0±0,25	1,81±4,46	1,13±0,01	13,41±0,27	0,143±0,01	0,939±0,02	0,16±0,01

Outro aspeto analisado foi a massa volúmica aparente ( $M_{vap}$ ) das argamassas, cujos resultados são apresentados na Figura 5.4. A massa volúmica foi calculada ao longo de toda a campanha experimental, nomeadamente para a argamassa em estado fresco, de forma geométrica para os provetes prismáticos de argamassa no estado endurecido (4x4x16cm) e finalmente aquando da determinação da porosidade aberta (método hidrostático). Na Figura 5.4 é possível verificar-se a correlação existente entre as massas volúmicas determinadas ao longo da campanha experimental. Nota-se que os valores da massa volúmica obtidos para cada argamassa têm uma pequena variação, entre os diversos métodos de ensaio, variando entre 1% e 5% para as argamassas Mp e Cp, 0% e 8% para R, 0% e 7% para M e 2% e 5% para C.

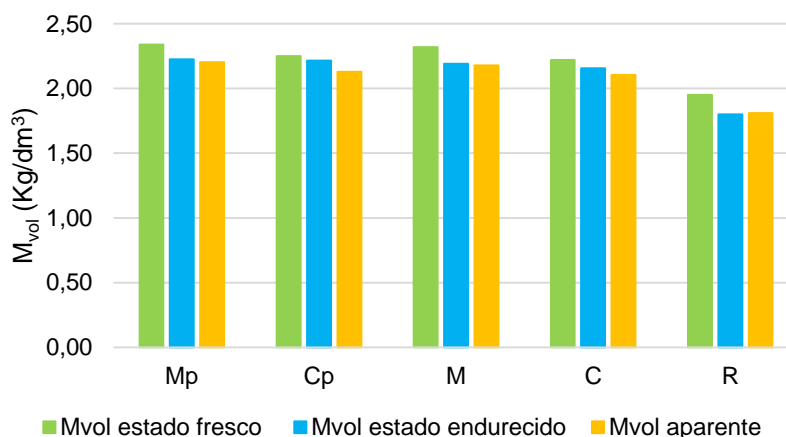


Figura 5.4 – Massa volúmica no estado fresco e endurecido, por método geométrico e hidrostático das argamassas

Relativamente ao ensaio de absorção de água sob baixa pressão, foi possível determinar as chamadas curvas de absorção de água sob baixa pressão para as cinco argamassas possibilitando a visualização dos valores de quantidade de água absorvida por unidade de área durante 60 minutos de ensaio.

As curvas de absorção de água sob baixa pressão são apresentadas na Figura 5.5.

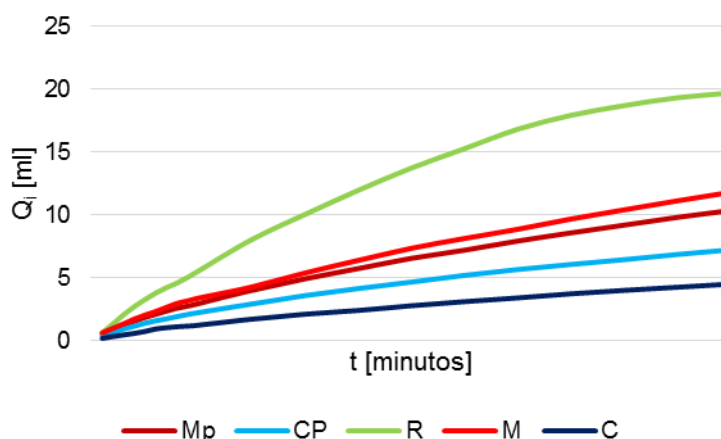


Figura 5.5 – Quantidade de água absorvida sob baixa pressão durante 60 minutos

De acordo com o ensaio de absorção de água a baixa pressão determinaram-se os valores da quantidade de água absorvida nos 5 minutos e nos 60 minutos de ensaio, e ainda os respetivos valores da quantidade de água absorvida por unidade de área para os 5 minutos e 60 minutos, visíveis na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Absorção de água a baixa pressão dos provetes de argamassa para 5 min e 60 min

Argamassas	Q <sub>5min</sub> [ml]		W <sub>5min</sub> [ml/cm <sup>2</sup> ]	Q <sub>60min</sub> [ml]		W <sub>60min</sub> [ml/cm <sup>2</sup> ]
	Média	Desvio padrão		Média	Desvio padrão	
Mp	1,87	0,208	0,38±0,04	10,38	1,054	2,12±0,21
Cp	1,40	0,529	0,29±0,11	7,25	1,902	1,48±0,39
M	2,05	0,312	0,42±0,06	11,83	1,021	2,41±0,21
C	0,75	0,071	0,15±0,01	4,53	0,177	0,92±0,04
R	3,28	0,247	0,67±0,05	19,73	1,945	4,02±0,40

Ao analisar-se a Figura 5.5 com os dados obtidos no ensaio de absorção de água a baixa pressão através do método dos tubos de Karsten conclui-se que o valor médio da quantidade de água absorvida (Q<sub>i</sub>) ao longo dos primeiros 10 minutos do ensaio é significativamente maior para a argamassa R (5,55±0,64ml) e que, para o mesmo intervalo de tempo, a variação entre as argamassas Mp e M é de 13%, superior para M, e entre Cp e C é de 44%, superior para Cp. Conclui-se que a adição de pigmento na amassadura Mp contribui de forma positiva para a redução da água absorvida sob baixa pressão e na amassadura Cp contribui de forma negativa.

Relativamente ao ensaio de absorção de água por capilaridade, o valor do coeficiente de capilaridade (CC) e o valor assintótico (VA) de cada argamassa foi determinado recorrendo à chamada curva de capilaridade visível na Figura 5.6, com abcissas expressas em  $\sqrt{\text{tempo}}$  [s<sup>1/2</sup>] e as ordenadas em massa por área de contacto com a água [kg/m<sup>2</sup>]. Os valores calculados são apresentados na Tabela 5.7.

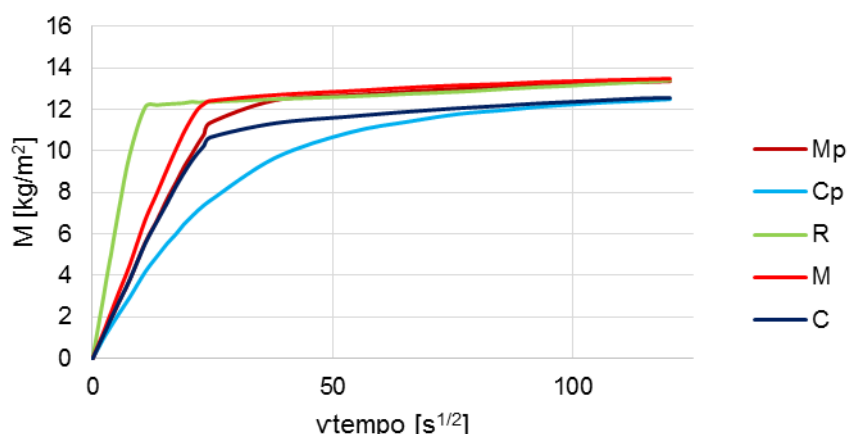


Figura 5.6 – Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas

Efetuada uma análise às primeiras 10 horas do ensaio à absorção de água por capilaridade constata-se que o pigmento presente nas argamassas Mp e Cp diminui ligeiramente o coeficiente de capilaridade face às argamassas M e C. Analisando apenas as argamassas Mp e M, obtém-se uma diminuição de 16% no CC com a introdução de 0,5% de pigmento e para as argamassas Cp e C, a diminuição do CC é significativamente maior, 53%, para 0,5% de pigmento. Entre todas as argamassas analisadas Cp é a que apresenta melhor comportamento face à ação capilar, exibindo menores “velocidades” de absorção de água capilar e menor quantidade de água absorvida. No que diz respeito à quantidade de água absorvida durante todo o ensaio pode-se constatar que os valores são bastante semelhantes entre si. As argamassas Mp e M apresentam valores superiores às Cp e C. Relativamente aos valores obtidos para VA pode-se afirmar que a argamassa M apresenta o maior valor e Cp o menor valor, e que a redução de VA através da influência do pigmento na argamassa é pouco significativa, cerca de 1%.

Na Figura 5.7 é possível visualizar dois gráficos, o da direita representa a taxa de secagem na segunda fase (TS2) expresso em  $[h^{1/2}]$  enquanto o da esquerda representa a taxa de secagem na primeira fase (TS1) expresso em  $[h]$ .

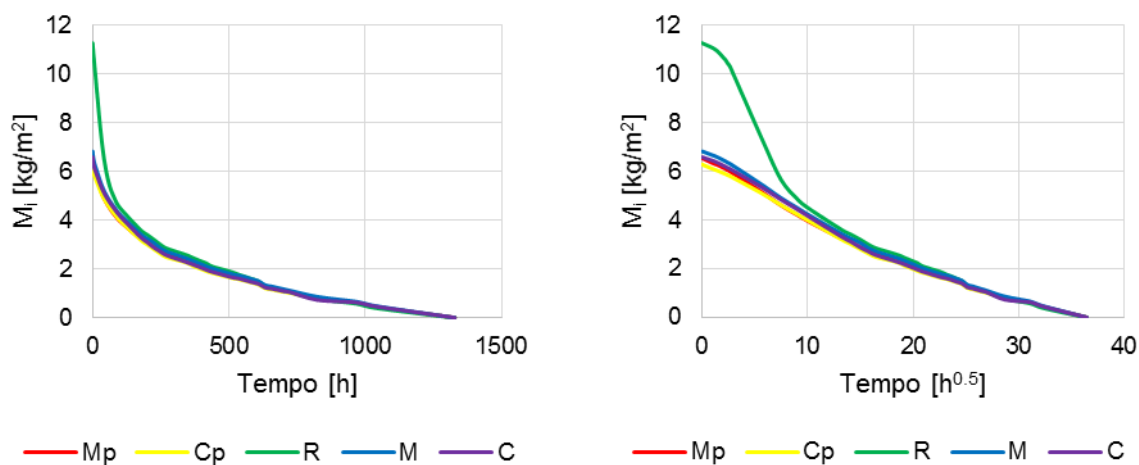


Figura 5.7 – Curvas de secagem TS1 (esq.) e TS2 (dir.)

Através destas curvas de secagem (Figura 5.7) e da Tabela 5.7 pode-se observar que as taxas de secagem TS1 e TS2 e IS são bastante semelhantes para as argamassas estudadas, exceto para a argamassa R, que apresenta maiores valores de TS1 e TS2 e baixo IS. Seguro será dizer que a argamassa R (que anteriormente apresentou maior valor de absorção de água por capilaridade) seca com maior facilidade durante as fases de secagem 1 e 2 e apresenta uma maior capacidade para a secagem total da argamassa (duas vezes superior quando compara-se com as restantes argamassas ensaiadas). No entanto, deve-se ter em mente que a brita lavada não é pintada, ao contrário da argamassa comum de reboco (R), que geralmente tem esse acabamento superficial. De um modo geral é expectável que os sistemas de pintura, mesmo aqueles definidos para não influenciarem muito a secagem, vão infelizmente diminuir este comportamento (Brito et al., 2011).

As taxas de secagem das fases 1 e 2 e o índice de secagem surgem na Tabela 5.7.

No que diz respeito aos valores obtidos na determinação da permeabilidade ao vapor de água tem-se na Tabela 5.9 os valores de fluxo de vapor de água por unidade de tempo e na Tabela 5.10 os valores: do fator de resistência à difusão de vapor de água ( $\mu$ ), da permeabilidade ao vapor de água ( $\delta_P$ ), da permeância ao vapor de água ( $W_P$ ) e da espessura da camada de difusão de vapor de água equivalente ( $S_d$ ) para cada uma das argamassas.

Tabela 5.9 – Fluxo de vapor de água por unidade de tempo (valor médio, desvio padrão e coeficiente de correlação)

Argamassas	G (kg/s)		R <sup>2</sup>
	Média	Desvio-Padrão	
Mp	4,10E-09	5,21E-10	0,951463
Cp	3,14E-09	2,34E-10	0,954711
M	3,74E-09	5,57E-11	0,951113
C	2,88E-09	2,43E-10	0,953126
R	7,59E-09	2,54E-10	0,954899

*Tabela 5.10 – Permeabilidade ao vapor de água, resistência à difusão de vapor de água, espessura da camada de difusão de vapor de água e permeância ao vapor de água*

Argamassas	$W_p [(kg/(m^2.S.Pa)) \times 10^{-10}]$	$S_d [m]$	$\delta_p [(kg/(m.s.Pa)) \times 10^{+12}]$	$\mu [-]$
Mp	11,16±1,42	6,39±0,78	22,98±2,92	31,03±3,77
Cp	8,54±0,64	8,29±0,63	17,94±1,34	39,49±3,02
M	10,16±0,15	6,94±0,10	22,14±0,33	31,88±0,48
C	7,84±0,66	9,05±0,80	15,79±1,33	44,93±3,98
R	20,65±0,69	3,42±0,12	41,75±1,40	16,92±0,57

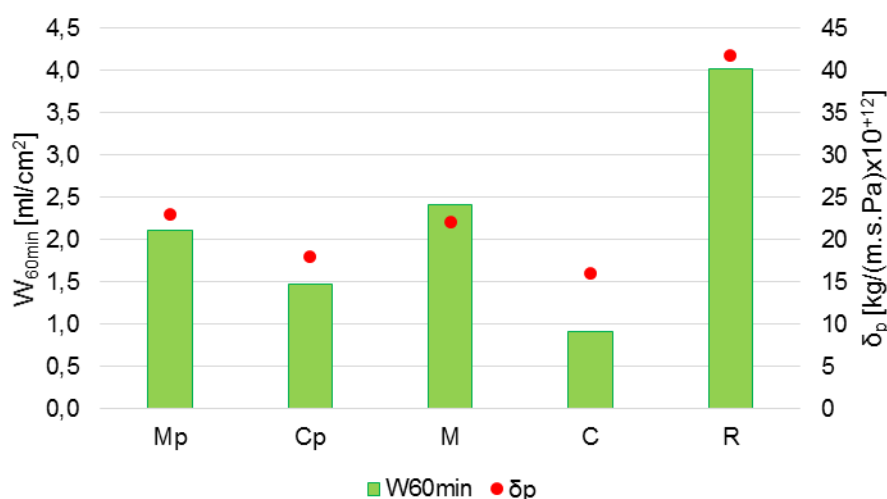
Observando os valores de permeabilidade ao vapor de água ( $\delta_p$ ) conclui-se que os valores maiores correspondem à argamassa de reboco R (quantidade de vapor de água que atravessa a argamassa R é maior). Observa-se que  $\delta_p$  aumentou com a adição de pigmento (4% e 17% comparando Mp e M e Cp e C respectivamente). A brita lavada Mp apresenta, entre as argamassas com gravilha na sua composição, o maior valor de permeabilidade ao vapor de água.

Apesar da argamassa R apresentar o maior valor de permeabilidade ao vapor de água de entre todas as analisadas, muito provavelmente essa permeabilidade irá diminuir quando for aplicado um sistema de pintura sobre o reboco (Brito et al., 2011). Pode-se concluir que a adição de pigmento contribui de forma positiva no acréscimo da permeabilidade ao vapor de água.

### 5.3.5. Comparação entre os Resultados Obtidos - Argamassas

Todas as características das argamassas serão avaliadas e comparadas com outros resultados no subcapítulo seguinte, principalmente através da sua relação com a porosidade aberta do material ( $P_{ab}$ ).

Realizando uma comparação entre os valores de permeabilidade ao vapor de água e os valores de absorção de água a baixa pressão é possível deduzir uma certa relação entre ambos. Na Figura 5.8 é possível observar que quanto maior  $W_{60min}$  maior o valor  $\delta_p$  e vice-versa.



*Figura 5.8 – Comparação entre a absorção de água a baixa pressão e a permeabilidade ao vapor de água*

Analisando as argamassas com gravilha na sua composição (Mp, Cp, M e C), as que apresentam maiores valores de  $W_{60min}$  e  $\delta_p$  são as argamassas com agregado basáltico (Mp e M).

Quando comparados os valores de absorção de água a baixa pressão W60min e os valores de porosidade aberta Pab nota-se, novamente, uma direta relação entre os valores. Certo será dizer que os valores de Pab e W60min têm a mesma tendência. Esta ligação direta pode ser visualizada na Figura 5.9 onde, para os maiores valores de Pab, tem-se maiores valores de W60min.

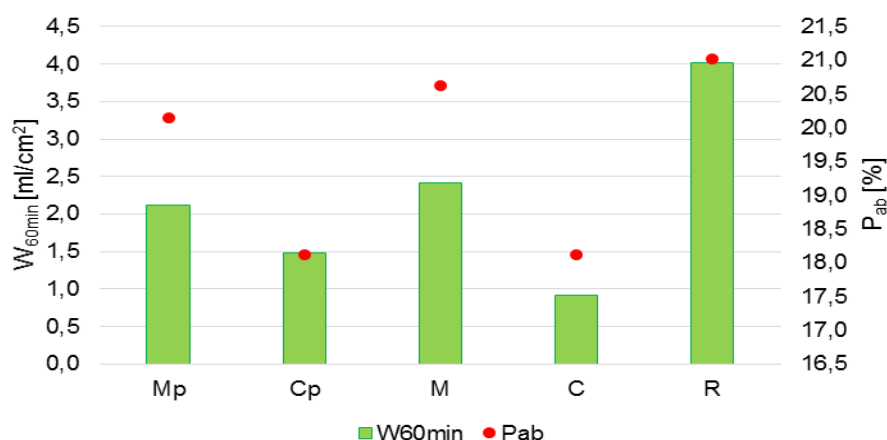


Figura 5.9 – Comparação entre a absorção de água sob baixa pressão e a porosidade aberta

Analisando os dados referente às relações entre o comportamento mecânico (RC e RF) e a porosidade aberta (Pab) nota-se que, tal como expectável, as resistências mecânicas aumentam com a diminuição da Pab. Esta afirmação é visível quando se comparam as argamassas Mp e M e quando se comparam as argamassas Cp e C. Na Figura 5.10 observam-se os valores médios da porosidade aberta e os valores médios de RC e RF. A argamassa R apresenta os menores valores de resistência mecânica e valores mais elevados de Pab em ambos os casos.

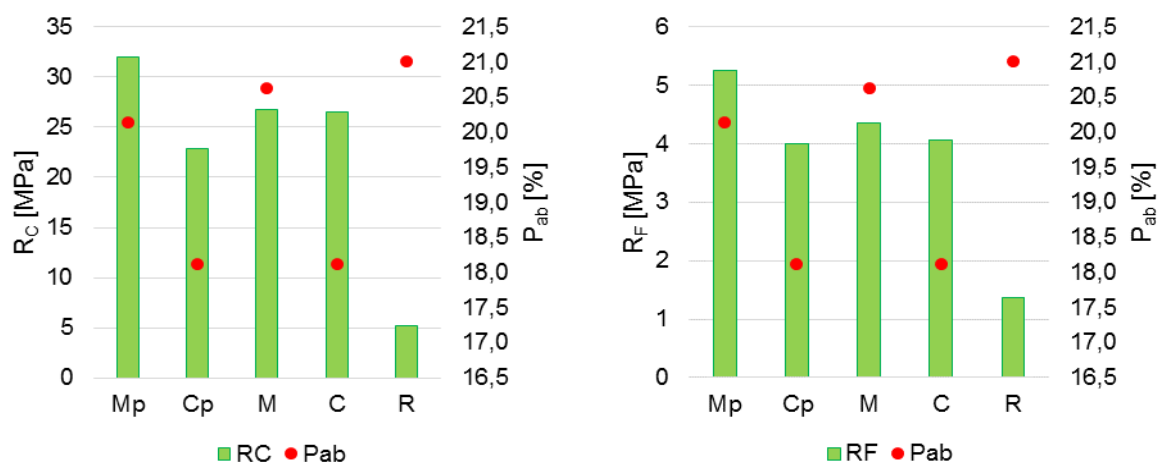


Figura 5.10 – Comparação entre a porosidade aberta e a resistência à compressão (esq.) e a resistência à tração por flexão (dir.)

Comparando os valores obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade (CC e VA) e os valores médios obtidos no ensaio de porosidade aberta (Pab) nota-se que existe uma correlação entre estes valores. Verifica-se que a velocidade inicial de absorção de água por capilaridade está relacionada com a Pab. Conclui-se então que para os maiores valores de Pab têm-se os maiores valores de CC. Analisando o valor assintótico com os valores da Pab, é notório que a quantidade de água absorvida seja maior para os provetes com maior Pab pois esta depende diretamente do volume de poros disponível na argamassa.

Comparando as argamassas, aquela que apresenta maior valor de VA é a que apresenta maior valor de P<sub>ab</sub>. Na Figura 5.11 apresentam-se os valores médios de P<sub>ab</sub> e os valores médios de CC e VA.

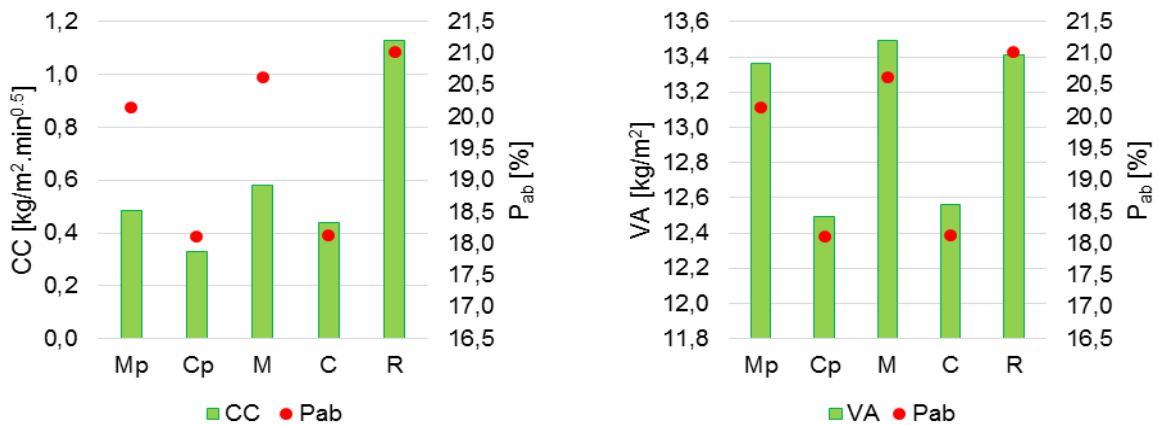


Figura 5.11 – Comparação entre a porosidade aberta e o coeficiente de absorção de água por capilaridade (esq.) e o valor assintótico (dir.)

Quando se comparam os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade (CC) com o ensaio de absorção de água a baixa pressão (W60min) é possível concluir que as argamassas Mp, M e R têm um comportamento semelhante: a maiores valores de CC correspondem maiores valores de W60min. Pode-se concluir que os valores de W60min complementam os resultados obtidos no ensaio de capilaridade. Contudo as argamassas Cp e C não têm a mesma tendência, apresentando valores superiores de W60min para valores inferiores de CC (Figura 5.12).

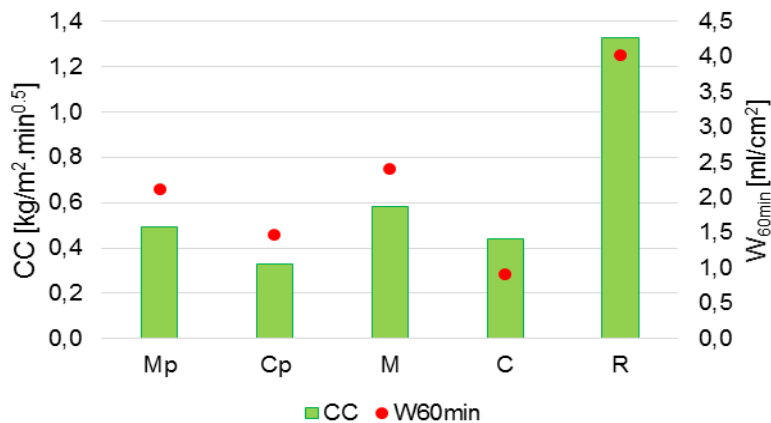


Figura 5.12 – Comparação entre a absorção de água por capilaridade e a absorção de água a baixa pressão

Considerando que, de uma forma indireta, a permeabilidade ao vapor de água de uma argamassa caracteriza a sua estrutura porosa, seguro será dizer que  $\delta_p$  está de certo modo relacionado com a porosidade aberta (P<sub>ab</sub>) da mesma argamassa e que, para um aumento de  $\delta_p$ , ocorrerá um aumento da P<sub>ab</sub>, apresentando um comportamento linear para as argamassas com traço semelhante (Mp, Cp, M e C). Contudo após uma análise direta entre a P<sub>ab</sub> e a  $\delta_p$ , observa-se que esse comportamento linear é um pouco diferente do suposto.

Na Figura 5.13 é possível observar que a diminuição de P<sub>ab</sub> provocou uma diminuição do  $\mu$  e, por consequência, um aumento de  $\delta_p$ , bem visível no caso das argamassas Mp e M. Tal facto poderá estar

relacionado com a quantidade de poros, as dimensões dos poros e ainda como estes poros estão ligados entre si. «A uma maior quantidade de poros está associada a uma maior quantidade de ligações entre poros. Deste modo, o percurso das moléculas de vapor de água é caracterizado por um maior número de situações de transição. Por outro lado, em poros de menores dimensões, o volume ocupado pelas moléculas de vapor absorvidas na superfície dos poros contribui para uma diminuição do fluxo, uma vez que é menor o espaço disponível para a difusão livre das restantes moléculas de vapor» (Rato, 2006).

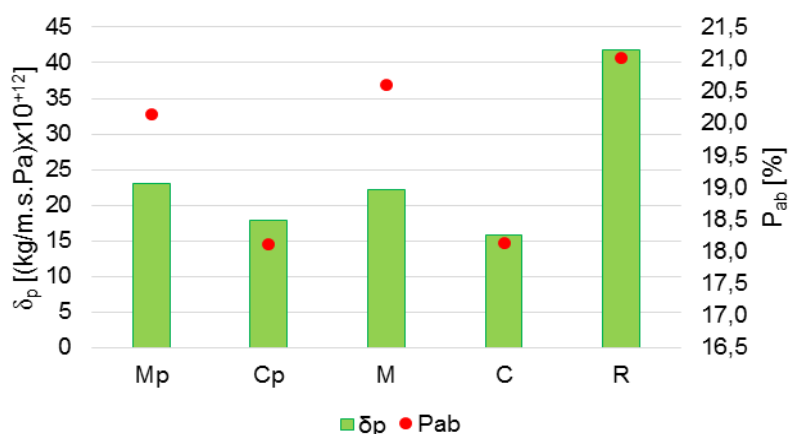


Figura 5.13 – Comparação entre porosidade aberta e a permeabilidade ao vapor de água

Observando a Figura 5.14 verifica-se que os valores obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade (CC) e no ensaio de permeabilidade ao vapor de água ( $\delta_p$ ) têm a mesma tendência. É possível concluir que as argamassas com maior resistência à difusão de vapor de água ( $\mu$ ) serão aquelas que apresentam menor valor de  $\delta_p$  e, por consequência, menor valor de CC.

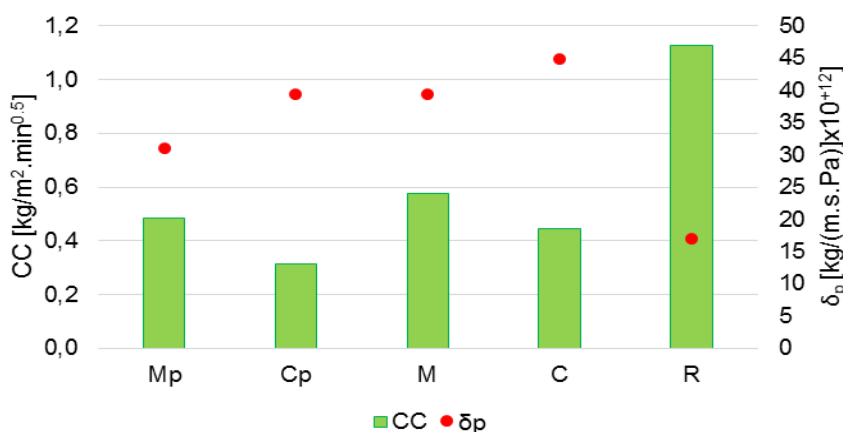


Figura 5.14 – Comparação entre a absorção de água por capilaridade e a permeabilidade ao vapor de água

Pode-se ainda afirmar que as argamassas com pigmento e gravilha na sua composição apresentam valores inferiores de CC e  $\delta_p$  quando comparadas com as argamassas com mesmo traço mássico e composição sem pigmento (Mp com M e Cp com C) – adicionando pigmento preto à argamassa irá diminuir a absorção de água por capilaridade (Song, 2009). Estas argamassas apresentam uma maior compacidade, que se traduz num acesso de menor quantidade de água e numa maior dificuldade de secagem. Outra relação direta obtida é relativamente à espessura da camada de água equivalente ( $S_d$ )



que também é maior para maiores valores de CC. Existe uma relação direta entre os valores apresentados, sendo possível verificar uma certa ligação entre o comportamento físico das argamassas estudadas através de dois ensaios diferentes. Analisando os valores obtidos na 5.13 e na 5.14 pode-se concluir que, para valores baixos de  $P_{ab}$ , maior valor de  $\delta_p$  e CC. Pode-se assim confirmar a relação importante entre a porosidade aberta do material e o seu comportamento face à água.

Na Figura 5.15 é possível visualizar os valores de  $P_{ab}$  e IS para cada argamassa. Visualizando as argamassas Mp e M percebe-se que o aumento de  $P_{ab}$  produz um pequeno aumento no IS. Comparando as argamassas Cp com C não se nota qualquer diferença entre os valores uma vez que os valores de  $P_{ab}$  são semelhantes. Comparando Mp e Cp nota-se um pequeno aumento de IS com a diminuição de  $P_{ab}$ , sendo mais evidente esta relação quando analisados os materiais M e C.

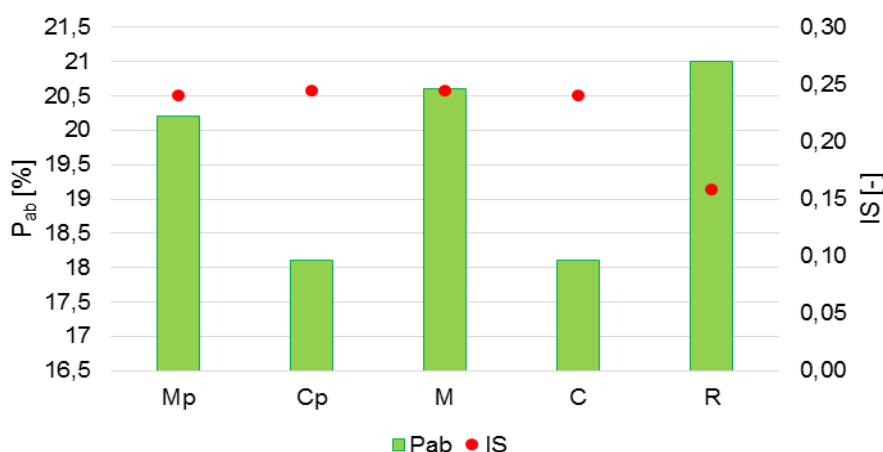


Figura 5.15 – Comparação entre a porosidade aberta e o índice de secagem

Comparando agora os resultados obtidos nos ensaios mecânicos ( $R_c$  e  $R_f$ ) com os resultados obtidos no ensaio de permeabilidade ao vapor de água ( $\delta_p$ ), no ensaio de absorção de água a baixa pressão ( $W_{60min}$ ) e no ensaio de absorção de água por capilaridade (CC) (Tabela 5.7, Tabela 5.10 e Tabela 5.8) tem-se que, para maiores resistências mecânicas, registam-se maiores valores de  $\delta_p$ , menores valores de CC e menores valores de  $W_{60min}$ . «Elevadas resistências mecânicas devidas a elevada compacidade; absorção capilar e permeabilidade ao vapor de água pouco elevadas» (Faria-Rodrigues et al, 2006).

Estudos de porosimetria complementariam a caracterização da brita lavada, permitindo justificar alguns dos comportamentos verificados. De acordo com (Mehta, 1986) numa pasta de cimento é sugerido que poros capilares maiores que 10nm influência principalmente a resistência mecânica e a permeabilidade da argamassa, enquanto que poros capilares menores que 10nm influência principalmente a retração por secagem e a fluência da argamassa.

Realizando a comparação entre as argamassas Mp e R, ambas argamassas típicas da RAM, concebidas para serem aplicadas como brita lavada e reboco, nota-se que Mp apresenta menor valor de consistência por espalhamento e maior resistência mecânica. Mp apresenta ainda melhor valor de absorção de água a baixa pressão, menor valor de absorção capilar e menor valor de absorção de água por permeabilidade.

Outra análise possível de efetuar é a influência de 0,5% de óxido de ferro na amassadura. Quando se comparam os valores obtidos em Mp com os valores obtidos em M, a introdução melhorou todas as características analisadas. Quando se compara Cp e C os 0,5% de óxido de ferro apenas tiveram 3

aspectos positivos: melhoria da absorção de água por capilaridade, redução da quantidade de água absorvida por capilaridade e o aumento da permeabilidade ao vapor de água.

A absorção de água está relacionada com as forças de capilaridade iniciais, as quais dependem da estrutura dos poros, e a temperatura, com base em estudos efetuados por outros investigadores por (McCarter, 1993; Grant e Bachmann, 2000). Além disso, haverá sempre condensação ou evaporação no menisco de água. Por conseguinte, existe uma transformação de fase entre as fases líquidas e gasosas durante o processo de transporte de água (Chari et al., 2016).

Por fim tem-se na Figura 5.15 a relação entre os parâmetros de índice de secagem (IS) e porosidade aberta ( $P_{ab}$ ). Teoricamente quanto maior for o valor de  $P_{ab}$  maior será a capacidade do material secar, ou seja, com maiores valores de  $P_{ab}$ , mais facilmente o material seca, logo menor valor de IS.

## 5.4. Análise dos Resultados - Pedra Natural

### 5.4.1. Caracterização Mecânica da Pedra Natural

A caracterização mecânica da pedra foi efetuada a partir de cinco ensaios: resistência à compressão ( $R_c$ ), resistência à tração por flexão ( $R_f$ ), módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{din}$ ), velocidade de propagação dos ultrassons ( $V_{us}$ ) e o índice esclerométrico ( $I_{esc}$ ). Relembra-se a importância da caracterização deste material regional, que não se encontrava ainda efetuada.

Relativamente à determinação da velocidade de propagação dos ultrassons obteve-se, durante o ensaio, os valores da distância percorrida ( $d_{us}$ ), do tempo de trânsito ( $t_{us}$ ) e da velocidade de pulso ( $V_{us}$ ) para os provetes PN cúbicos 7cm e prismáticos 4cmx4cmx16cm, visíveis na Tabela 5.11. As variações entre as velocidades de propagação entre os provetes PN cúbicos e os prismáticos deve-se ao facto de apresentarem dimensões desiguais, nomeadamente secções transversais diferentes, 7cm e 4cm respetivamente, e ainda a distância percorrida ( $d_{us}$ ) o que faz com que a propagação da onda ultrassónica se dê de modo diferente.

*Tabela 5.11 – Distância percorrida ( $d_{us}$ ), tempo de trânsito ( $t_{us}$ ) e velocidade de pulso ( $V_{us}$ ) para a pedra natural*

Pedra Natural [cm]	$d_{us}$ [m]	$t_{us}$ [μs]		$V_{us}$ [m/s]	
	Média	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
PN 7x7x7	0,07	34,12	0,79	2070,02	49,05
PN 4x4x16	0,16	26,29	0,44	6094,68	106,62

Na Tabela 5.12 é possível visualizar os valores obtidos nos ensaios de resistência à compressão ( $R_c$ ), resistência à tração por flexão ( $R_f$ ), módulo de elasticidade dinâmico ( $E_{din}$ ), velocidade de propagação dos ultrassons ( $V_{us}$ ) e o índice esclerométrico ( $I_{esc}$ ).

*Tabela 5.12 – Resistência à compressão, resistência à tração por flexão e módulo de elasticidade dinâmico para a pedra natural*

Pedra Natural [cm]	$E_{din}$ [MPa]	$R_f$ [MPa]	$R_c$ [MPa]	$V_{us}$ [m/s]	$I_{esc}$
PN 4x4x16	12042±1136	37,44±2,12	---	6094,68±106,62	---
PN 3x3x20	14200±1475	30,47±8,85	---	---	---
PN 4x4x4	---	---	229,51±61,03	---	---
PN 7x7x7	---	---	229,63±26,14	2070,02±49,05	116±7

Para os provetes de pedra natural foi ainda possível realizar uma avaliação estatística dos resultados ao ensaio de tração à flexão (Tabela 5.13) e compressão (Tabela 5.14) seguindo o procedimento descrito no anexo A da NP EN 12372 (IPQ, 2008) e no anexo C da norma NP EN 1926 (IPQ, 2000), respetivamente. Para o cálculo do valor mínimo esperado assume-se uma distribuição logarítmica normal. O valor mínimo esperado corresponde ao quantil 5% de uma distribuição logarítmica normal para um nível de confiança de 75%

*Tabela 5.13 – Valores estatísticos da resistência à tração por flexão dos provetes de pedra natural*

Pedra Natural [cm]	R <sub>f</sub> [MPa]				
	Média	Desvio Padrão	Valor máximo	Valor mínimo	Valor mínimo esperado
PN 4x4x16	37,44	2,12	40,66	35,51	32,82
PN 3x3x20	30,47	8,85	40,66	23,43	14,73

*Tabela 5.14 – Valores estatísticos do ensaio à compressão dos provetes de pedra natural*

Pedra Natural [cm]	R <sub>c</sub> [MPa]				
	Média	Desvio Padrão	Valor máximo	Valor mínimo	Valor mínimo esperado
PN 7x7x7	229,63	26,14	274,52	196,23	175,97
PN 4x4x4	229,51	61,03	300,01	176,28	117,99

Note-se que a pedra apresenta valores elevados de resistência mecânica e baixa deformação. A rotura do provete no ensaio de flexão (RF) foi semelhante em todos os provetes dando-se sempre a meio do provete. Os provetes com as dimensões 4x4x16cm apresentaram uma rotura mais centrada e uniforme.

Na Figura 5.16 é possível visualizar o estado de alguns provetes antes e depois do ensaio de compressão (RC). A rotura ocorreu de tal forma violenta que os provetes, depois do ensaio, ficavam reduzidos a aproximadamente 40% do seu tamanho inicial. Pode-se ainda concluir que a PN apresenta valores de dureza superficiais elevados, de acordo com o índice esclerométrico (Iesc), e velocidades de propagação de ultrassons (Vus) elevadas, quando comparadas com outras PN de natureza diferente.



*Figura 5.16 – Proвете antes (esq.) e depois (dir.) da rotura do provete de argamassa no ensaio à compressão*

Relativamente aos valores de R<sub>f</sub> a partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que os valores de resistência à flexão são semelhantes entre os dois provetes de tamanhos diferentes. Através da Tabela

5.15 será possível comparar os valores obtidos com outros estudos de pedra basáltica (Suryawanshi, 2013; Mogi, 2007; Engidasew, 2013).

*Tabela 5.15 – Resistência à tração por flexão, compressão e velocidade de propagação dos ultrassons de várias pedras*

Tipo de Rocha		R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	V <sub>us</sub> [m/s]
Ígneas	Basalto (Suryawanshi, 2013; Mogi, 2007; Engidasew, 2013)	3-16	40-413	[4000-7000]
	Granito (Quick, 2002; Vasconcelos, 2005; Pinho, 2015)	8-18	26-310	[1956-4804]
Sedimentares	Calcário (Quick, 2002; Mogi, 2007; Bell, 2007)	4-20	16-230	[2800-4800]
	Arenito (Quick, 2002; Mogi, 2007)	4-12	20-240	---
Metamórficas	Xisto (Noronha, 2011; Burcio, 2004; Vasconcelos, 2005)	---	31-221	[1883-5449]
	Mármore (Quick, 2002; Mogi, 2007)	7-19	40-190	---
	Ardósia (Quick, 2002)	35-55	---	---

Analisando agora os resultados do ensaio à compressão foi possível classificar a resistência de acordo com a classificação proposta por Bell (Bell, 2007) e Anon (Anon, 1977; Anon, 1979; Anon, 1981). É possível afirmar que o basalto apresenta, de acordo com a Sociedade de Geologia da América, uma resistência à compressão extremamente forte, de acordo com a Associação Internacional de Geologia de Engenharia, uma resistência à compressão extremamente forte e de acordo com a Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, uma resistência à compressão muito elevada.

Em relação aos valores de resistência à tração por flexão, aos valores de resistência à compressão e aos valores de velocidade de propagação dos ultrassons de rochas em geral é possível observar, na Tabela 5.15, um resumo dos valores de diversas pedras adaptados de vários investigadores (Quick, 2002; Engidasew, 2013; Barros et al, 2014).

Analisando os resultados do basalto examinado na dissertação, pode-se detetar que os valores de resistência à flexão por tração não caem dentro do intervalo de resultados apresentados para o basalto na Tabela 5.15. Os valores obtidos na dissertação são superiores com intervalos de 23-41 [MPa]. Em relação à resistência à tração por flexão, todas as pedras mostraram gamas de valor semelhante ao basalto estudado; apenas o calcário e a ardósia contêm uma gama de valores mais elevados, quando comparado com o basalto da Ilha da Madeira.

Comparando os resultados do basalto examinado neste documento, pode-se observar que os valores de resistência à compressão situam-se dentro da gama de resultados apresentados para o basalto na Tabela 5.15. Relativamente às restantes pedras, a gama de valores exibidos pela pedra basáltica, em geral, é superior aos valores exibidos pelo xisto e pelo mármore e semelhante a todas as outras pedras.

De acordo com os valores da Tabela 5.15 os valores de velocidade de propagação dos ultrassons obtidos para os provetes PN 4x4x16 são os únicos que se encontram dentro do intervalo de valores. Comparando não só para o basalto mas com as outras pedras nota-se que os intervalos de valores apresentados são todos semelhantes, sendo que as gamas para o basalto são as mais altas apresentadas.

Em teoria pode-se afirmar que a frequência de onda não afeta a velocidade. No entanto estamos perante um material natural que por muito mais homogêneo que seja apresenta alguma heterogeneidade. Sabe-se que através do ensaio realizado quando estamos perante distâncias relativamente pequenas (7cm) o valor é diferente do valor para distância maiores (16cm).

Para distâncias muito reduzidas a Norma Portuguesa NP EN 12504-4 (IPQ, 2007), recomenda como distância mínima provetes com 100mm. Para distâncias muito grande é preciso ter em consideração o conteúdo em frequência da onda emitida.

Na Tabela 5.16 é possível visualizar os valores obtidos de módulo de elasticidade dinâmico e ainda os valores de índice esclerométrico para a pedra basáltica determinada por vários autores.

*Tabela 5.16 – Módulo de elasticidade dinâmico e índice esclerométrico para basalto*

Basalto	(Bell, 2007)	(Engidasew, 2013)	(Christaras et al., 1994)
$E_{din}$ [GPa]	---	64-120	101-110
$I_{esc}$	61	40-54	---

Os valores de módulo de elasticidade dinâmico diferem muito dos valores obtidos para o basalto, o que poderá indicar que o aparelho utilizado (Zeus Resonance Meter) na determinação do módulo de elasticidade dinâmico não será o mais indicado uma vez que as gamas de valores obtidas são demasiado baixas quando comparadas com outras gamas obtidas por outros autores (Engidasew, 2013) e (Christaras et al., 1994).

O mesmo acontece quanto é realizada a análise aos valores obtidos durante a determinação do índice esclerométrico: os valores de resalto obtidos são superiores aos obtidos por outros investigadores (Bell, 2007; Engidasew, 2013), evidenciando que o aparelho utilizado (Esclerometro pendular PT) não foi o mais indicado (Bell, 2007).

#### 5.4.2. Caracterização Física da Pedra Natural

A caracterização física da pedra natural foi realizada através dos seguintes ensaios: porosidade aberta ( $P_{ab}$ ), massa volúmica aparente ( $M_{vap}$ ) e absorção de água à pressão atmosférica ( $A_b$ ).

Durante a realização do ensaio de absorção de água à pressão atmosférica foi possível obter-se os valores da massa seca ( $m_d$ ) e da massa saturada dos provetes ( $m_s$ ) de pedra basáltica. Na Tabela 5.17 é possível visualizar os valores referidos e ainda os valores de absorção de água à pressão atmosférica ( $A_b$ ) obtidos para cada um dos provetes:

*Tabela 5.17 – Massa seca ( $m_d$ ), massa saturada ( $m_s$ ) e absorção de água à pressão atmosférica ( $A_b$ ) da pedra basáltica*

Proвете [cm]	$m_d$ [g]		$m_s$ [g]		$A_b$ [%]	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
PN 7x7x7	1030,122	13,772	1033,439	13,626	0,32	0,021
PN 4x4x4	190,081	2,516	191,144	2,559	0,56	0,042

Para cada um dos ensaios (porosidade aberta ( $P_{ab}$ ), massa volúmica aparente ( $M_{vap}$ ) e absorção de água à pressão atmosférica ( $A_b$ )) obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 5.18.

*Tabela 5.18 – Porosidade aberta, massa volúmica aparente e absorção de água à pressão atmosférica da pedra basáltica*

Provete [cm]	P <sub>ab</sub> [%]	M <sub>vap</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	A <sub>b</sub> [%]
PN 4x4x4	1,35±0,167	2951,04±15,63	0,56±0,04
PN 7x7x7	0,84±0,03	2971,53±29,01	0,32±0,02

Através dos valores obtidos nota-se que a pedra basáltica apresenta valores baixos de P<sub>ab</sub> e A<sub>b</sub>. O cálculo da massa volúmica, através do quociente da massa pelo volume dos provetes (Tabela 5.19) são bastante aproximados quando comparados com os valores de massa volúmica aparente por método hidrostático (Tabela 5.18).

*Tabela 5.19 – Massa volúmica por método geométrico*

Pedra Natural [cm]	Massa [kg]	Volume [m <sup>3</sup> ]	M <sub>vap</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
PN 4x4x4	0,19±0,00	6,54x10 <sup>-5</sup>	2904,86±15,02
PN 7x7x7	1,03±0,01	3,52x10 <sup>-4</sup>	2929,09±33,03

As dimensões selecionadas para este ensaio específico têm uma enorme importância no seu resultado - para a porosidade aberta, a relação entre a área e o volume dos provetes deverá estar compreendida entre 0.08mm<sup>-1</sup> e 0.20mm<sup>-1</sup> (IPQ, 2007). Os provetes PN 4x4x4 não respeitam este requisito, no entanto, optou-se por deixar os valores com o objetivo de demonstrar a importância da sua dimensão. A dimensão dos provetes não teve influência significativa na determinação da massa volúmica aparente (M<sub>vap</sub>).

A partir da porosidade aberta obtida nos ensaios ( $\leq 1\%$  de 7x7x7 cm) e considerando a classificação proposta de pedras fornecida por Bell (Bell, 2007), é possível afirmar que o presente basalto tem um valor muito baixo de porosidade aberta, pertencendo à classe 5.

Comparando com alguns estudos (Engidasew, 2013) os valores de porosidade aberta são muito semelhantes com algumas das amostras identificadas e, em alguns casos, os valores são inferiores aos encontrados (Suryawanshi, et al., 2013), dependendo do tipo de basalto analisado (Baglioni, 2007). Resultados sobre a massa volúmica aparente são consistentes com as diretrizes estabelecidas por outros investigadores (Engidasew, 2013).

Em relação à massa volúmica aparente, porosidade aberta e absorção de água à pressão atmosférica de pedras em geral é possível observar, na Tabela 5.20, um resumo dos valores de diversas pedras, adaptados de Barros et al. (Barros et al., 2014).

*Tabela 5.20 – Massa volúmica aparente, porosidade aberta e absorção de água à pressão atmosférica de várias pedras*

Tipo de Pedra		M <sub>vap</sub> [g/m <sup>3</sup> ]	P <sub>ab</sub> [%]	A <sub>b</sub> [%]
Ígneas	Basalto (Baglioni, 2007; Reis, 2010)	2,90-3,00	0,30-0,90	[0,10-0,30]
	Granito (Baglioni, 2007; Reis, 2010)	2,60-2,80	0,40-1,50	[0,20-0,50]
Sedimentares	Calcário (Baglioni, 2007)	2,60-2,80	0,60-2,00	[0,20-0,60]
	Arenito (Kobranova, 1989; Reis, 2010)	1,30-3,60	0,50-40,00	[0,20-9,00]
Metamórficas	Mármore (Baglioni, 2007; Reis, 2010)	2,70-2,80	0,50-3,00	[0,20-0,60]
	Xisto (Noronha et al, 2011)	2,51-2,88	0,30-2,30	---

Considerando os valores, para o basalto, fornecidos na Tabela 5.20, pode concluir-se que a porosidade aberta e a massa volúmica aparente do basalto estudado encaixa-se nos intervalos descritos, com a

exceção do valor de porosidade aberta para as amostras com 4x4x4cm. Comparando agora com os valores obtidos por outras pedras (Tabela 5.20), o basalto estudado apresenta em geral uma gama de massa volúmica aparente inferior. Em relação à porosidade aberta, todas as pedras mostram gamas de valor mais elevadas, especialmente o arenito, quando comparado com o basalto da Ilha da Madeira.

Abordando os valores de absorção de água à pressão atmosférica, pode-se notar que os valores são ligeiramente superiores (0,32% para PN 7x7x7cm e 0,56% para PN 4x4x4cm) ao intervalo de valores da Tabela 5.20. Nota-se a influência da dimensão dos provetes nos valores obtidos.

Deve-se referir novamente que a PN 4x4x4cm não está de acordo com alguns parâmetros estabelecidos pela norma NP EN 13755 (IPQ, 2008). Mesmo assim mantêm-se os valores de modo a ser possível analisar a influência da dimensão dos provetes na determinação de certos ensaios.

Em relação aos valores de  $A_b$  de todas as pedras, a maioria apresenta gamas de valor semelhantes exceto o arenito, quando comparado com o basalto da Ilha da Madeira.

### **5.4.3. Caracterização do Basalto face a Pedras Portuguesas**

Neste subcapítulo é apresentada uma comparação entre a pedra basáltica natural proveniente da RAM, utilizada na produção de “sarrisca” (aplicada em argamassas de brita lavada), com outros 6 tipos litológicos de pedra natural provenientes da RAM e ainda com outros 5 tipos litológicos de pedra natural provenientes do CP.

«As seis amostras de pedra natural correspondem às explorações da Palmeira (Traquibasalto – cantaria rija), do Cabo Girão (tufo de lapili – cantaria “mole” preta esverdeada e castanha-esverdeada), do Curral das Freiras (tufo de lapili – cantaria “mole” cor-de-rosa), do Caniçal (tufo – cantaria “mole” vermelha) e da ilha do Porto Santo, na Serra de Dentro (traquito – cantaria “branco-sujo”))» (Silva et al., 2002).

«Do continente foram utilizados o granito cinzento de Pinhel, o granito cinzento favaco, o mármore creme Pardais, mármore Pele de Tigre e o calcário Moca Creme de grão médio» (Casal Moura et al., 2000).

Relativamente à caracterização mecânica da pedra natural os ensaios a ter em conta são: resistência à compressão ( $R_c$ ), resistência à tração por flexão ( $R_f$ ) e ainda o valor mínimo esperado ( $V_{min. esp}$ ) (avaliação estatística).

A pedra basáltica estudada no decorrer da dissertação apresenta os valores mais elevados de resistência mecânica ( $R_c$  e  $R_f$ ), comparando com as cantarias rijas (Traquito branco-sujo e Traquibasalto) e com as cantarias moles (Tufo de lapili cor-de-rosa, Tufo de lapili vermelho, Tufo de lapili castanha-esverdeada e Tufo de lapili preta-esverdeada).

Analisando as características das pedras e conhecendo um pouco a sua textura já era previsível que as pedras designadas de cantaria mole (tufos) apresentassem menores valores de resistência mecânica e que, por sua vez, as designadas de cantaria rija (traquito e traquibasalto) apresentassem valores mais elevados.

Dentro do grupo das cantarias rijas (traquito e traquibasalto) o traquibasalto apresentou valores de resistência mecânica superiores ao traquito «diferenças texturais exibidas pela pedra natural» (Silva et al., 2002). Quando é realizada a análise aos restantes quatro tipos litológicos designados de cantaria mole (tufos) verifica-se que o tufo de lapili cor-de-rosa é o que apresenta maior resistência mecânica.

Estas diferenças encontradas nos ensaios mecânicos estão sempre interligadas com aspetos físicos daí ser importante caracterizar, através de ensaios físicos, o mesmo conjunto de pedras naturais, de modo a conseguir explicar algumas das propriedades mecânicas encontradas.

As cantarias moles foram as que evidenciaram os maiores valores de  $P_{ab}$ . Quando se compara com os valores de resistência mecânica pode-se notar que o basalto apresenta os maiores valores de resistência mecânica e os valores mais baixos de  $P_{ab}$  e, à medida que a  $P_{ab}$  aumenta, a resistência mecânica diminui. É possível concluir que as resistências mecânicas são influenciadas pela «porosidade, dimensão dos fragmentos vulcânicos e encraves» (Silva et al., 2002).

Comparativamente à massa volúmica aparente nota-se que é maior para o basalto e para as cantarias rijas (traquibasalto e o traquito) e menor para as cantarias moles (tufos) – resistências mecânicas altas correspondem a massa volúmica elevada e vice-versa.

De acordo com os valores obtidos para  $A_b$ , estes são inferiores a 1% no caso do basalto e para a cantaria rija são menores do que 5%. Pode-se afirmar que  $A_b$  e  $P_{ab}$  são reduzidos para o basalto e cantarias rijas e elevados para as cantarias moles, verificando-se o oposto para os valores de  $M_{vap}$ ,  $R_C$  e  $R_F$ .

Correlacionando os resultados dos basaltos estudados neste trabalho com os valores de rochas similares da ilha da Madeira (Silva et al., 2002) é possível afirmar que o traquibasalto apresenta o valor mais aproximado de resistência à flexão por tração (18,2 MPa) e o valor mais aproximado de resistência à compressão (114 MPa).

As referidas características anteriormente detalhadas permitiram que os madeirenses aproveitassem as diversas propriedades das pedras de forma empírica, utilizando até aos dias de hoje as pedras mais porosas (tufo de lapili), por exemplo, na construção de filtros de água, as pedras resistentes e pouco porosas (traquibasalto) em cantarias, aplicada em vãos de portas, janelas, e as pedras mais compactas, mais rígidas (caso do basalto) como agregado a utilizar no fabrico de argamassas, como é o caso da argamassa de brita lavada.

Optou-se ainda por comparar o basalto da RAM com outras pedras do Continente, nomeadamente: o granito cinzento favaco, classificado como quatzodiorito; o granito cinzento de Pinhel, classificado como granito; o mármore creme pardais e o mármore pele de tigre, classificados como mármore; e o calcário moca creme (grão médio), classificado como calcário calciclástico.

Os valores de resistência à compressão são superiores para o basalto ( $R_C=226,7\text{MPa}$ ), enquanto outras pedras naturais apresentam valores compreendidos entre 90,9MPa e 123,8MPa. Em termos de resistência à tração por flexão nota-se que o basalto e o mármore de tigre apresentam valores semelhantes ( $R_F=33,12\text{MPa}$  e  $R_F=30,60\text{MPa}$ ).

Ao contrário do que se tinha passado anteriormente em comparação com as pedras da RAM, o basalto não apresenta as menores absorção de água à pressão atmosférica ( $A_b$ ) nem porosidade aberta ( $P_{ab}$ ). As menores  $P_{ab}$  e  $A_b$  são obtidas para os dois tipos de mármore (são bastante semelhantes em termos físicos e mecânicos), enquanto que os valores superiores são apresentados pelo calcário.



## **6. Conclusões**

### **6.1. Considerações Finais**

A reduzida existência de documentação científica sobre as argamassas típicas madeirenses e alguns dos materiais nelas utilizados motivaram a realização desta dissertação.

A dissertação iniciou-se com a contextualização histórica das construções madeirenses focando com mais detalhe os materiais utilizados e as argamassas mais comuns. Na RAM existe a aplicação diversificada da brita lavada em muitas construções, desde habitações familiares a edifícios turísticos. Este tipo específico de argamassa de cimento Portland tem como agregado gravilha basáltica e é pigmentada com óxido de ferro preto. Tem como principal aplicação o revestimento de paredes exteriores, o capeamento de muros e o revestimento de pavimentos. Tem uma tecnologia de aplicação específica que consiste na lavagem da superfície algum tempo depois da aplicação e antes da argamassa ter curado totalmente, resultando uma maior visualização da gravilha. Para além de simular alvenaria de pedra, apresenta muito boa durabilidade.

Apesar da aplicação generalizada e do conhecimento empírico da brita lavada, pouco se sabia sobre as suas propriedades físico-mecânicas. Considera-se que a investigação efetuada contribui para um conhecimento mais efetivo das suas características mais importantes da brita lavada, assim como da pedra basáltica utilizada como constituinte principal.

### **6.2. Conclusões Finais**

Durante a amassadura manual da brita lavada notou-se pouca trabalhabilidade, traduzindo-se num valor baixo de consistência por espalhamento. De modo a melhorar a sua trabalhabilidade (sem alterar a quantidade de água) poder-se-ia introduzir um superplastificante. Nota-se a importância, tanto nas argamassas como no betão, de utilizar um superplastificante. No entanto, é com esta trabalhabilidade que a argamassa de brita lavada é geralmente aplicada a fresco na RAM. Como apresenta tradicionalmente um bom comportamento e uma boa durabilidade, e é muito aplicada, trata-se de uma característica aparentemente sem necessidade de ser alterada.

Após a análise das argamassas pode-se concluir que a brita lavada apresenta uma elevada resistência mecânica. Quanto às suas características físicas mais relevantes consta-se que apresenta: baixo coeficiente de capilaridade, baixa permeabilidade ao vapor de água, baixa absorção de água a baixa pressão, embora menor velocidade de secagem.

Foi ainda possível concluir que o pigmento presente na brita lavada contribui de forma positiva face à água na sua forma gasosa, uma vez que no ensaio de permeabilidade ao vapor de água notou-se um ligeiro aumento da permeabilidade ao vapor de água com a adição de pigmento.

No que diz respeito à pedra basáltica da RAM pode-se concluir que esta apresenta elevada resistência à compressão, o que a torna extremamente difícil de trabalhar. Essa deve ser a razão de não ser tão usual empregar-se este tipo de pedra como cantaria ou noutras aplicações na qual a pedra tivesse de ser trabalhada. Simultaneamente deve ser a razão desta pedra ser tão utilizada na produção local de brita lavada. Como característica física relevante tem-se a baixa absorção de água à pressão atmosférica, ideal para ser utilizado como agregado.

### **6.3. Desenvolvimentos Futuros**

De modo a proporcionar a continuidade deste trabalho seria interessante, como desenvolvimentos futuros, realizar as seguintes propostas:

- Avaliar de forma mais sistemática a durabilidade da brita lavada e nomeadamente a sua resistência a sais presentes na água do mar.
- Análise e caracterização dos meios porosos das argamassas estudadas nesta dissertação, de modo a conhecer com maior detalhe os fenómenos de transporte que ocorrem dentro das argamassas.
- Formulação e estudo de argamassas diversas com outros agregados e através da mistura de agregados, utilizados na RAM na realização da brita lavada, de modo a ser possível a criação de padrões de comparação e desempenho.
- Efetuar uma análise química e mineralógica ao agregado utilizado na brita lavada de modo a saber-se quais as suas influências e qual a sua reatividade quando adicionados ao pigmento.
- Analisar qual será a quantidade de pigmento ótima a adicionar à argamassa de modo a melhorar algumas das suas propriedades físicas, sem aumentar o custo de produção.
- Averiguar qual a influência de um superplastificante na brita lavada de modo a melhorar a trabalhabilidade, sem que isso afete o seu desempenho como argamassa de reboco.

## Referências Bibliográficas

- Alencar R. (2005). A influência da adição de pigmentos na resistência à compressão e durabilidade de concretos com cimento branco e cinza. In: 46º Congresso Brasileiro do Concreto. Recife. São Paulo. Instituto Brasileiro do Concreto (CD-ROM).
- Alvarez C., Rocha-Gomes L. (2007). Análise crítica dos aspectos ambientais no uso de pigmentos nas argamassas de rejuntamento do Espírito Santo (Brasil): diagnóstico e recomendações. In 2º Congresso Português de Argamassas de Construção. APFAC. FIL. Lisboa.
- Aragão A. (1979). Para a História do Funchal: Pequenos passos da sua memória. Funchal. Secretaria Regional da Educação e Cultura. DRAC.
- Baglioni A. (2007). Manuale di Progettazione Edilizia. The traditional materials. Milan. HOEPLI.
- Barros R., Oliveira D., Varum H., Alves, C., Camões A. (2014). Experimental characterization of physical properties of schist from Portugal. Construction and Building Materials Vol. 50. p. 617-630. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.008.
- Bell F. (2007). Engineering Geology. Oxford. ELSEVIER. Second Edition.
- Buchner G. (1991). Pigments in concrete production. Betonwerk und Fertigteil-Technik. Vol. 57 (8). p. 54-61.
- Braja M. (2008). Advanced soil mechanics: Taylor & Francis. London & New York.
- Brás A., Leal M., Faria P. (2013). Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with cement-EPS mortars performance. Construction and Building Materials. Vol. 49. p. 315-327. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.08.006.
- Brito V., Gonçalves T., Faria P. (2011). Coatings applied on damp substrates: performance and influence on moisture transport. J. Coating Technology and Research. Vol.8 (4). p. 513-525. DOI: 10.1007/s11998-010-9319-5.
- Burcio M. (2004). Controle Estrutural da localização de Pedreiras de Xisto para vinha em Vila Nova de Foz Côa. Mestrado em Cartografia Geológica. Universidade de Évora.
- Casal Moura A. et al. (2000). Granitos e rochas similares de Portugal. Instituto Geológico e Mineiro (ed.) Porto.
- CEN (2002). EN 1015-18. "Methods of test for mortar for masonry; Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar". Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2006). EN 1015-3. "Methods of test for mortar for masonry; Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)". Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2006). EN 1015-6. "Methods of test for mortar for masonry; Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar". Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2006). EN 1015-11. "Methods of test for mortar for masonry; Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar". Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2009). EN 15801. "Conservation of cultural property; Test methods; Determination of water absorption by capillarity". Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2009). EN 15803. "Conservation of cultural property; Test methods; Determination of water vapour permeability ( $\delta p$ )". Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2013). EN 16322 "Conservation of Cultural Heritage; Test methods; Determination of drying properties". Brussels: European Committee for Standardization.

CEN (2013). EN 16302 "Conservation of cultural heritage; Test methods; Measurement of water absorption by pipe method". Brussels: European Committee for Standardization.

Chari M., Shekarchi M., Sobhani J., Chari M. (2016). The effect of temperature on the moisture transfer coefficient of cement-based mortars: An experimental investigation. *Construction and Building Materials*. Vol. 102. p.306-317. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.065.

Christaras B., Auger F., Mosse E. (1994). Determination of the moduli of elasticity of rocks. Comparison of the ultrasonic velocity and mechanical resonance frequency methods with direct static methods. *Materials and Structures*. Vol. 27. p. 222-228. DOI: 10.1007/BF02473036

Cristóvão C. (1981). *Elucidário de Machico*. Edição da Câmara Municipal de Machico.

DEC/UNL (1996a). "Fichas de ensaio – Pedras naturais e artificiais. Determinação da massa volúmica". Fe 01. Caparica. FCT/UNL.

DEC/UNL (1996b). "Fichas de ensaio – Pedras naturais e artificiais. Determinação da porosidade aberta". Fe 02. Caparica. FCT/UNL.

DEC/UNL (1996c). "Fichas de ensaio – Pedras naturais e artificiais. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico". Fe 08. Caparica. FCT/UNL.

DEC/UNL (1999b). "Fichas de ensaio – Areias. Determinação do volume de vazios". Fe 30. Caparica: FCT/UNL.

Engidasew T. (2013) Engineering geological characterization of Volcanic Rocks of Ethiopian and Sardinian highlands to be used as construction materials. PhD in Soil Defense and Conservation, Environmental Vulnerability and Hydrogeological Protection. Università degli Studi di Cagliari.

Faria-Rodrigues M. (2004). Argamassas de revestimento para alvenarias antigas contributo para o estudo da influência dos ligantes. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.

Faria-Rodrigues P., Henriques F. (2004). Current mortars in conservation: an overview. *Restoration of Buildings and Monuments*. Vol.10. (6). p. 609-622. DOI: 10.1515/rbm-2004-5901.

Faria-Rodrigues P., Rato V., Henriques F. (2006) Caracterização de argamassas pré-doseadas de fabrico nacional. In: *Patorreb 2006*, Porto. FEUP. Março. p. 381-390.

Faria P., Tavares M., Menezes M., Veiga R., Margalha G. (2010). Traditional Portuguese techniques for application and maintenance of historic renders. *RILEM Proceedings Pro 078: HMC2010, 2nd Historic Mortars Conference and RILEM TC 203-RHM Final Workshop* (J.Walek, C.Groot, J.Hughes, Ed.). Prague. September 2010. p. 609-617.

Faria P. (2012). Argamassas Sustentáveis. In: *2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono*. FCT UNL. Portugal.

Faria P., Veiga R., Parcoal P., Borsoi G. (2012a). Consolidação e Reintegração cromática de Revestimentos Históricos – Estudo da Influência na Adição de Pigmentos. In: *4º Congresso de Construção*. Coimbra (CD-ROM).

Faria P., Silva V., Flores-Colen I. (2012b). Argamassas de cal hidráulica natural e pozolanas artificiais: avaliação laboratorial. In: *4º Congresso Português de Argamassas e ETICS*. Coimbra (CD-ROM).

Ferrão R. (2001). *Roteiro da Freguesia do Caniçal: Concelho de Machico*. Ilha da Madeira.

Ferreira C. (1994). *Arquitetura popular - as casas de salão*. Xarabanda Revista. Nº 6. p. 34-36.

Grant S., Bachmann J. (2000). Effect of temperature on capillary pressure. U.S. Army Cold Regions Research & Engineering Laboratory. Hanover. New Hampshire. <http://dx.doi.org/10.1029/129GM18>

Gomes M. (1904). *Cartas sem moral nenhuma*. Tavares Cardoso & Irmão. Lisboa.

Gomes C., Silva J. (1997). *Pedra Natural do Arquipélago da Madeira: Importância Social, Cultural e Económica*. Madeira Rochas - Divulgações Científicas e Culturais. Câmara de Lobos.

Gonçalves T. (2007). Salt crystallization in plastered or rendered walls. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade Técnica de Lisboa.

Gunter B. (1993) Industrial Inorganic Pigment. VCH Publishers. Inc. New York.

Grilo J, Faria P, Veiga R, Santos-Silva A. Silva V., Velosa A. (2014). New natural hydraulic lime mortars. Physical and microstructural properties in different curing conditions. Construction and Building Materials. Vol. 54, p. 378-384. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.078>.

Halamickova P., Detwiler R. (1995). Water permeability and chloride ion diffusion in Portland cement mortars: relationship to sand content and critical pore diameter. Cement and Concrete Research. Vol. 25, p. 790-802. DOI: 10.1016/0008-8846(95)00069-O.

Hendges A. et al. (2004). Resistência à compressão, custo e coloração de concretos produzidos com pigmentos e cimentos Portland cinza e branco. In: 46º Congresso Brasileiro do Concreto, Florianópolis. São Paulo. Instituto Brasileiro do Concreto (CD-ROM).

Henriques F. (1991). Caracterização de revestimentos de paredes para edifícios antigos – Plano de Investigação. Lisboa: LNEC. Rel.69/91 – NCCT.

IPQ (2000). NP EN 1925. “Métodos de ensaio para pedra natural - Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade”. Lisboa. Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2002). NP EN 1097-3. “Ensaio para a determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Método para a determinação da baridade e dos vazios”. Lisboa. Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2006). NP EN 14146. “Métodos de ensaio para pedra natural; Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamental) ”. Lisboa. Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2007). NP EN 12504-4. “Ensaio do betão nas estruturas; Parte 4: Determinação da velocidade de propagação dos ultra-sons”. Lisboa. Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2008). NP EN 1936. “Métodos de ensaio para pedra natural; Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta”. Lisboa. Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2008). NP EN 1015-19. “Métodos de ensaio de argamassas para alvenaria; Parte 19: Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas”. Lisboa. Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2008). EN 12372. “Métodos de ensaio para pedra natural; Determinação da resistência à flexão sob carga centrada”. Lisboa. Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2008). NP EN 1926. Métodos de ensaio para pedra natural; Determinação da resistência à compressão uniaxial”. Lisboa. Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2008). NP EN 13755. “Métodos de ensaio para pedra natural; Determinação da absorção de água à pressão atmosférica”. Lisboa. Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2011). NP EN 12620. “Agregados para betão”. Lisboa. Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2012). NP EN 197-1. “Cimento; Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes”; Lisboa. Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2012). NP EN 12504-2. “Ensaio do betão nas estruturas; Parte 2: Ensaio não destrutivo; Determinação do índice esclerométrico”. Lisboa. Instituto Português de Qualidade.

IPQ (2014). NP EN 933-1. “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica – Método de peneiração”. Lisboa. Instituto Português de Qualidade.

Kobranova, V. (1989). Petrophysics. Berlin. Springer-Verlag.

- Laibao L., Yunsheng Z., Wenhua Z., Zhiyong L., Lihua Z. (2013). Investigating the influence of basalt as mineral admixture on hydration and microstructure formation mechanism of cement. *Construction and Building Materials*. Vol. 48, p. 434-440. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.07.021.
- Lee H., Lee J., Yu M. Y. (2005). Influence of the inorganic pigments on the fluidity of cement mortars. *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, p. 703-710. DOI:10.1016/j.cemconres.2004.06.010.
- Lee W. and van Deventer J. (2007). Chemical interactions between siliceous aggregates and low-Ca alkali-activated cements. *Cement and Concrete Research*. Vol. 37. p. 844-855. DOI:10.1016/J.cemconres.2007.03.012.
- Lewis M. (1995). *Modern Stone Cladding: Design and Installation of Exterior Dimension Stone Systems*. ASTM Manual Series: MNL 21.
- Magalhães A., Veiga M. (2007). *Caracterização da higroscopicidade de argamassas com base em cal* Relatório 201/2007 – NRI. Lisboa: LNEC.
- Margalha G. (1997). *O uso da cal em argamassas no Alentejo*. Dissertação de mestrado em recuperação do património arquitectónico e paisagístico. Évora. Universidade de Évora.
- Mascarenhas J. (2003). *Sistema de construção: descrição ilustrativa e detalhada de processos construtivos utilizados correntemente em Portugal*, Vol. II, 2ª ed.
- McCarter W.(1993). Influence of surface finish on sorptivity on concrete, *J. Mater. Civ. Eng.* Vol. 5, p. 130-136. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1993\)5:1\(130\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1993)5:1(130))
- Mehta P. (1986). *Concrete: structure, properties, and materials*. Englewood Cliffs. NJ: Prentice-Hall.
- Mestre V. (2002). *Arquitectura Popular da Madeira*. Lisboa: Argumentum.
- Mogi K. (2007). *Experimental rock mechanics*. London. Taylor & Francis Group.
- Mowat C., Symons M. (1981). *Physical properties of concrete containing pigments*. Institution of Engineering. Australia Civil Engineering Transactions. Vol. 24.
- Noronha F. et al. (2011). Shales as a resource the case of Tras-os-Montes and Alto Douro. In RGAOT'11. University of Tras-os-Montes e Alto Douro.
- Pereira E. (1989). *Ilhas de Zargo*. Volume I e II. Camara Municipal do Funchal.
- Peter L. (1988) *Pigment handbook*, Volume 1: Properties and Economics, 2<sup>nd</sup> Edition. John Wiley & Son. New York.
- Pinho A., Duarte I., Rosa, F., Rodrigues-Carvalho J. (2015). Influence of anisotropy on the mechanical properties of Baixo Alentejo flysch rocks (Portugal). The 13th ISRM Congress. Montréal. Québec. Canada. Proceedings of the ISRM 2015 Congress on a USB key.
- Quick G. (2002). Selective guide to the specification of dimension stone. *Discovering Stone*. Issue 1. pp. 8-21.
- Ramos A. (1879). *Ideia geral da Ilha*. Ilha da Madeira. 1º Volume.
- Reis A. (2010). *Organização e Gestão de Obras*. Lisboa. Edições Técnicas E.T.L.
- Ribeiro A. (1992). A Cal no Porto Santo. *Xarabanda Revista*. Nº2. p. 16-18.
- Ribeiro A. (2001). *Roteiro da Freguesia de Água de Pena*. Concelho de Machico.
- Saraya M. (2014). Study physico-chemical properties of blended cements containing fixed amount of silica fume, blast furnace slag, basalt and limestone, a comparative study. *Construction and Building Materials*. Vol. 72. p. 104-112. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.08.071.
- Salema I. (2015). O betão encontrou o basalto e isso deu cinzento mais escuro. *Jornal Público*. 10 de Março de 2015.
- Silva A. (1995). Colmatando um Palheiro. *Xarabanda Revista*. Nº8. p. 45-47.

- Silva F., Menezes C. (1921). *Elucidário Madeirense*: Volume 1, 2 e 3. Funchal
- Sousa J. (1994). *História Rural da Madeira: A Colónia*. Funchal: Direcção Regional dos Assuntos Culturais.
- Silva J., Ferraz E., Moura A. C., Grade J., Gomes C. (2002). Natural stone from the Madeira archipelago: dependence on lithology of its physico-mechanical behavior. *Sociedade Portuguesa de Geotecnia. Eurock 2001. Workshop on Volcanic Rocks*. p. 115 - 124.
- Song H., Pack S., Nam S., Jang J., Saraswathy V. (2010). Estimation of the permeability of silica fume cement concrete. *Construction and Building Materials*. Vol. 24. p. 315-21. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.08.033.
- Sousa Coutinho A. (1988). *Fabrico e propriedades do betão*. Lisboa. LNEC.
- Sousa E. (2000). *ILHARQ: Revista de Arqueologia e Património Cultural do Arquipélago da Madeira*. Nº0. ARCHAIS.
- Sousa E. (2003). *ILHARQ: Revista de Arqueologia e Património Cultural do Arquipélago da Madeira*. Nº3. ARCHAIS.
- Sousa E. (2005). *Inventário do Património Imóvel do Concelho de Machico*. Camara Municipal de Machico, ARCHAIS.
- Sousa E. (2006). *Arqueologia da Cidade de Machico: A Construção do Quotidiano nos Séculos XV, XVI e XVII*. CEAM.
- Suryawanshi S., Patil D. (2013). Feasibility Study of Basalt Stone Tile a Case Study. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Vol. 4. (8). p. 1835-1838.
- Tasong W., Lynsdale C., Cripps J. (1999). Aggregate-cement paste interface. Part I: Influence of aggregate geochemistry. *Cement and Concrete Research*. Vol. 29. p. 1019-1025. DOI: 10.1016/S0008-8846(99)00086-1.
- Tasong W., Cripps J., Lynsdale C. (1998). Aggregate-cement chemical interactions. *Cement and Concrete Research*. Vol. 28, p. 1037-1048. DOI: 10.1016/S0008-8846(98)00067-2.
- Tasong W., Lynsdale C., Cripps J (1998b). Aggregate-cement paste interface. Part II: influence of aggregate physical properties. *Cement and Concrete Research*. Vol. 28, p. 1453-1465. DOI: 10.1016/S0008-8846(98)00126-4.
- Van Hees R., Koek J., De Clercq H., De Witte, Binda L., Baronio G. (1996). Evaluation of the performance of surface treatments for the conservation of brick masonry. *8th Int. Congr. On 'Deterioration and Conservation of Stone*. Berlin. Vol. 3. p. 1695-1715.
- Vasconcelos G. (2005). *Experimental investigation of the mechanics of stone masonry: characterization of granites and behavior of ancient masonry shear walls*. PhD thesis. University of Minho.
- Vieira A. (1989). *Consequências do Povoamento da Madeira e Açores*. In *Portugal no Mundo*. Direcção de Luis Albuquerque. vol. 1. Lisboa. p. 212-224.
- Vieira A. (1997). *São Vicente: Um século de vida municipal*. Região Autónoma da Madeira.
- Veiga M., Tavares M., Magalhães A. (2007). *Restauro da fachada em marmorite de cal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Lisboa*. Materiais, métodos e resultados. In: VII SBTA - Seminário Brasileiro de tecnologia de Argamassas. Recife. Brasil.





## Anexo – Valores individuais dos ensaios

Tabela A.1 – Volume de vazios e índice de vazios dos constituintes das argamassas

Materiais Constituintes	Provete	V <sub>v</sub> [%]	e[-]	Baridade [kg/m <sup>3</sup> ]
GM	A1	29,90	0,51	1431,56
	A2	29,91	0,51	1421,53
	A3	29,86	0,51	1404,15
GC	B1	28,76	0,48	1382,23
	B2	28,91	0,49	1390,65
	B3	28,85	0,49	1392,39
AR	C1	32,01	0,44	1470,19
	C2	32,18	0,44	1473,79
	C3	32,11	0,44	1468,59
Pigmento Preto	D1			780,85
	D2			751,99
	D3			766,42
Cimento Portland	E1			1142,33
	E2			1152,33
	E3			1151,03

Tabela A.2 – Consistência por espalhamento das argamassas no estado fresco

Argamassas	Provete	Espalhamento [mm]
Mp	A11	12,1
	A12	12,2
	A13	12,4
	A14	12,1
Cp	B21	13,8
	B22	14
	B23	13,7
	B24	13,6
M	C31	14,5
	P32	14,6
	C33	14,6
	C34	14,7
C	D41	12,3
	D42	12,3
	D43	12,2
	D44	12
R	E51	14,2
	E52	14
	E53	14
	E54	14

Tabela A.3 – Módulo de elasticidade dinâmico do basalto

Pedras [cm]	Provetes	Lado	Superior/Inferior	E <sub>din</sub> Baixo [MPa]	E <sub>din</sub> Médio [MPa]	E <sub>din</sub> Alto [MPa]
PN 3x3x20	PN11	AB	S	6354	8912	14060
	PN11	AB	I	7129	8747	13385
	PN11	CD	S	7698	8204	15543
	PN11	CD	I	7536	8609	15554
	PN12	AB	S	7261	8554	15056
	PN12	AB	I	6226	8882	14170
	PN12	CD	S	7138	8945	13663
	PN12	CD	I	6941	8536	14868
	PN13	AB	S	6852	8837	15569
	PN13	AB	I	6988	9251	15830
	PN13	CD	S	7087	8930	16117
	PN13	CD	I	6956	8790	14931
	PN14	AB	S	5796	8377	10647
	PN14	AB	I		8121	14390
	PN14	CD	S		7940	15725
	PN14	CD	I		8239	14548
	PN15	AB	S		8503	10525
	PN15	AB	I		8341	14775
	PN15	CD	S		8764	15154
	PN15	CD	I		8690	14239
	PN16	AB	S		8875	12956
	PN16	AB	I		8431	12981
	PN16	CD	S		8418	13001
	PN16	CD	I		8623	13107
PN 4x4x16	PN21	AB	S	8114	9164	14437
	PN21	AB	I	8272	9682	14383
	PN21	CD	S	8740	9300	13766
	PN21	CD	I	8381	9509	13952
	PN22	AB	S		9576	11368
	PN22	AB	I		9671	11395
	PN22	CD	S		9497	11337
	PN22	CD	I		9584	11491
	PN23	AB	S		9227	11050
	PN23	AB	I		9213	11004
	PN23	CD	S		9493	11112
	PN23	CD	I		9221	11236
	PN24	AB	S		9223	12563
	PN24	AB	I		9233	12768
	PN24	CD	S		9145	12944
	PN24	CD	I		9012	12123
	PN25	AB	S		9417	11321
	PN25	AB	I		9325	12038
	PN25	CD	S		9080	11385
	PN25	CD	I		9174	11360
	PN26	AB	S		9854	11955
	PN26	AB	I		9314	10176
	PN26	CD	S		9558	11809
	PN26	CD	I		9483	12038

Tabela A.4 – Resistência à tração por flexão das argamassas e do basalto

Argamassas/Pedras [cm]	Provetes	R <sub>f</sub> [MPa]
Mp	P11	5,48
	P12	5,05
	P13	5,34
	P14	5,18
	P15	5,51
	P16	5,03
Cp	P21	3,36
	P22	4,67
	P23	3,52
	P34	4,18
	P35	3,93
	P26	4,38
M	P31	4,18
	P32	3,72
	P33	3,87
	P34	4,73
	P35	4,88
	P36	4,74
C	P41	4,00
	P42	3,47
	P45	4,10
	P46	3,80
	P47	4,60
	P48	4,39
R	P51	1,18
	P52	1,70
	P53	1,41
	P54	1,30
	P55	1,20
	P56	1,42
PN 4x4x16	PN21	36,16
	PN22	39,43
	PN23	35,51
	PN24	40,66
	PN25	35,86
	PN26	37,01
PN 3x3x20	PN11	23,43
	PN12	39,68
	PN13	24,16
	PN14	40,63
	PN15	25,45
	PN16	Fendas

Tabela A.5 – Resistência à compressão das argamassas e do basalto

Argamassas/Pedras [cm]	Provetes	R <sub>c</sub> [MPa]
Mp	P11	30,99
	P12	31,25
	P13	38,13
	P14	35,63
	P15	31,25
	P16	25,00
Cp	P21	13,50
	P22	22,92
	P23	22,59
	P34	23,89
	P35	29,40
	P26	24,54
M	P31	28,33
	P32	28,12
	P33	26,53
	P34	21,69
	P35	29,45
	P36	26,46
C	P41	28,13
	P42	27,50
	P45	26,25
	P46	21,25
	P47	29,38
	P48	26,25
R	P51	5,42
	P52	5,40
	P53	4,70
	P54	5,51
	P55	5,28
	P56	5,12
PN 7x7cm	PN31	214,09
	PN32	196,23
	PN33	230,43
	PN34	226,84
	PN35	235,67
	PN36	274,53
PN 4x4cm	PN41	291,97
	PN42	186,84
	PN43	176,28
	PN44	192,44
	PN45	300,01
	PN46	Fendas

Tabela A.6 – Coeficiente de capilaridade e valor assintótico das argamassas

Argamassas	Provetes	CC [kg/m <sup>2</sup> .min <sup>0.5</sup> ]	VA [kg/m <sup>2</sup> ]
Mp	P11	0,50	13,66
	P12	0,46	13,17
	P13	0,48	13,32
	P14	0,47	13,05
	P15	0,48	13,32
	P16	0,52	13,65
Cp	P21	0,31	12,72
	P22	0,33	12,84
	P23	0,29	12,62
	P34	0,33	12,22
	P35	0,31	12,55
	P26	0,26	12,02
M	P31	0,59	13,49
	P32	0,59	13,28
	P33	0,56	13,68
	P34	0,58	13,77
	P35	0,60	13,68
	P36	0,53	13,03
C	P41	0,49	12,89
	P42	0,46	12,40
	P45	0,44	12,94
	P46	0,48	12,89
	P47	0,47	12,21
	P48	0,45	12,04
R	P51	1,06	13,17
	P52	1,08	13,66
	P53	1,08	13,72
	P54	1,08	13,10
	P55	1,07	13,55
	P56	1,07	13,25

Tabela A.7 – Porosidade aberta e massa volúmica aparente das argamassas

Argamassas/Pedras [cm]	Provetes	P <sub>ab</sub> [%]	M <sub>vap</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
Mp	P11	20	2193
	P12	20	2207
	P13	20	2213
	P14	20	2206
	P15	20	2198
	P16	21	2201
	P101	19	2204
	P102	20	2217
	P103	21	2188
	P104	20	2188
	P105	20	2212
	P106	20	2217
Cp	P21	18	2136
	P22	18	2126
	P23	18	2147
	P34	18	2134
	P35	15	2166
	P26	18	2119
	P201	18	2134
	P202	18	2150
	P203	18	2141
	P204	18	2139
	P205	19	2115
	P206	Desprezado	Desprezado
M	P31	20	2178
	P32	20	2182
	P33	21	2176
	P34	20	2183
	P35	21	2184
	P36	21	2173
	P301	21	2193
	P302	21	2174
	P303	20	2200
	P304	20	2197
	P305	21	2187
	P306	Desprezado	Desprezado
C	P41	18	2104
	P42	18	2099
	P43	18	2110
	P44	18	2127
	P45	18	2089
	P46	16	2164
	P401	17	2099
	P402	17	2128
	P403	18	2117
	P404	18	2124
	P405	18	2105
	P406	Desprezado	Desprezado

Argamassas/Pedras [cm]	Provetes	P <sub>ab</sub> [%]	M <sub>vap</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
R	P51	21	1804
	P52	21	1812
	P53	21	1814
	P54	21	1805
	P55	21	1811
	P56	21	1802
	P501	21	1816
	P502	21	1802
	P503	21	1838
	P504	21	1819
	P505	Desprezado	Desprezado
	P506	Desprezado	Desprezado
PN 7x7cm	PN31	0,83	3028
	PN32	0,83	2945
	PN33	0,80	2959
	PN34	0,88	2961
	PN35	0,79	2969
	PN36	0,85	2961
PN 4x4cm	PN41	1,52	2943
	PN42	1,24	2928
	PN43	1,25	2974
	PN44	1,18	2959
	PN45	1,33	2955
	PN46	1,60	2948

Tabela A.8 – Índice de secagem e taxas de secagem das fases 1 e 2 das argamassas

Argamassas	Provetes	IS [-]	TS1 [kg/m <sup>2</sup> .h]	TS2 [kg/m <sup>2</sup> .h <sup>0.5</sup> ]
Mp	P11	0,25	0,08	0,26
	P12	0,25	0,09	0,25
	P13	0,28	0,07	0,22
	P14	0,23	0,09	0,22
	P15	0,22	0,11	0,24
	P16	0,22	0,12	0,23
Cp	P21	0,24	0,08	0,25
	P22	0,22	0,09	0,23
	P23	0,25	0,08	0,27
	P34	0,24	0,09	0,26
	P35	0,27	0,08	0,23
	P26	0,25	0,08	0,23
M	P31	0,23	0,10	0,26
	P32	0,25	0,09	0,25
	P33	0,23	0,10	0,26
	P34	0,26	0,08	0,26
	P35	0,25	0,09	0,25
	P36	0,25	0,08	0,24
C	P41	0,23	0,11	0,27
	P42	0,25	0,08	0,26
	P43	0,24	0,08	0,29
	P44	0,23	0,08	0,26
	P45	0,25	0,08	0,24
	P46	0,23	0,09	0,26
R	P51	0,14	0,13	0,93
	P52	0,17	0,14	0,91
	P53	0,16	0,15	0,94
	P54	0,16	0,15	0,93
	P55	0,16	0,14	0,94
	P56	0,16	0,15	0,98



Tabela A.9 – Fluxo de vapor de água por unidade de tempo e o respectivo coeficiente de correlação das argamassas

Argamassas	Provetes	G [kg/s]	R <sup>2</sup>
Mp	C11	4,68E-09	0,951
	C12	3,67E-09	
	C13	3,95E-09	
Cp	C21	3,20E-09	0,955
	C22	2,88E-09	
	C23	3,34E-09	
M	C31	3,77E-09	0,953
	C32	3,77E-09	
	C33	3,67E-09	
C	C41	2,60E-09	0,955
	C42	3,00E-09	
	C43	3,04E-09	
R	C51	7,31E-09	0,951
	C52	7,81E-09	
	C53	7,64E-09	

Tabela A.10 – Permeância ao vapor de água, espessura da camada equivalente de difusão de vapor de água, permeabilidade ao vapor de água e resistência à difusão de vapor de água das argamassas

Argamassas	Provetes	W <sub>p</sub> [kg/(m <sup>2</sup> .s.Pa)]	S <sub>d</sub> [m]	δ <sub>p</sub> [kg/(m.s.Pa)]	μ [-]
Mp	C11	1,27E-09	5,54	26,23	26,91
	C12	9,99E-10	7,06	20,57	34,30
	C13	1,08E-09	6,56	22,14	31,87
Cp	C21	3,20E-09	8,11	18,27	38,64
	C22	2,88E-09	9,00	16,47	42,84
	C23	3,34E-09	7,76	19,08	36,98
M	C31	3,77E-09	6,89	22,32	31,62
	C32	3,77E-09	6,88	22,34	31,59
	C33	3,67E-09	7,06	21,76	32,43
C	C41	2,60E-09	9,98	14,25	49,51
	C42	3,00E-09	8,64	16,46	42,88
	C43	3,04E-09	8,54	16,65	42,38
R	C51	7,31E-09	3,55	40,22	17,55
	C52	7,81E-09	3,32	42,97	16,42
	C53	7,64E-09	3,39	42,05	16,78

Tabela A.11 – Absorção de água a baixa pressão para 5 e 60 minutos das argamassas

Argamassas	Provetes	Q <sub>5min</sub> [ml]	W <sub>5min</sub> [ml/cm <sup>2</sup> ]	Q <sub>60min</sub> [ml]	W <sub>60min</sub> [ml/cm <sup>2</sup> ]
Mp	C11	2,10	0,43	11,55	2,35
	C12	1,80	0,37	10,10	2,06
	C13	1,70	0,35	9,50	1,94
Cp	C21	1,20	0,24	7,35	1,50
	C22	1,00	0,20	5,30	1,08
	C23	2,00	0,41	9,10	1,85
M	C31	2,40	0,49	11,40	2,32
	C32	1,95	0,40	11,10	2,26
	C33	1,80	0,37	13,00	2,65
C	C41	0,70	0,14	4,65	0,95
	C42	0,80	0,16	4,40	0,90
	C43	1,30	0,26	8,80	1,79
R	C51	3,45	0,70	21,10	4,30
	C52	3,10	0,63	18,35	3,74
	C53	3,80	0,77	17,30	3,52

Tabela A.12 – Absorção de água à pressão atmosférica do basalto

Pedras [cm]	Provetes	m <sub>d</sub> [g]	m <sub>s</sub> [g]	A <sub>b</sub> [%]
PN 7x7cm	PN31	1056,31	1059,35	0,29%
	PN32	1018,24	1021,71	0,34%
	PN33	1026,49	1030,01	0,34%
	PN34	1023,08	1026,29	0,31%
	PN35	1033,41	1036,64	0,31%
	PN36	1023,21	1026,62	0,33%
PN 4x4cm	PN41	191,181	192,36	0,62%
	PN42	188,223	189,19	0,52%
	PN43	191,606	192,65	0,54%
	PN44	186,167	187,23	0,57%
	PN45	190,173	191,15	0,51%
	PN46	193,138	194,28	0,59%

Tabela A.13 – Velocidade de propagação dos ultrassons do basalto

Pedras [cm]	Provetes	$d_{us}$ [m]	$t_{us}$ [ $\mu$ s]	$V_{us}$ [m/s]
PN 7x7x7	PN31	0,072	34,08	2045,29
	PN32	0,071	35,02	2024,36
	PN33	0,070	34,50	2056,60
	PN34	0,070	34,00	2044,01
	PN35	0,071	35,30	2004,85
	PN36	0,070	34,10	2059,13
	PN 301	0,070	34,08	2105,05
	PN 302	0,070	35,02	2017,70
	PN 303	0,071	34,50	2034,20
	PN 304	0,071	34,80	2042,24
	PN 305	0,071	34,50	2062,32
	PN 306	0,070	34,40	2035,76
	PN 307	0,071	33,20	2126,20
	PN 308	0,070	34,20	2058,19
	PN 309	0,071	33,20	2126,20
	PN 310	0,070	32,09	2196,01
	PN 311	0,072	34,02	2115,52
	PN 312	0,070	33,10	2106,65
PN 4x4x16	PN41	0,16	25,60	6260,55
	PN42	0,16	26,20	6117,18
	PN43	0,16	26,00	6164,23
	PN44	0,16	26,00	6145,00
	PN45	0,16	26,50	6029,06
	PN46	0,16	26,10	6121,46
	PN 401	0,16	26,20	6088,17
	PN 402	0,16	27,40	5821,53
	PN 403	0,16	26,60	5996,62
	PN 404	0,16	26,60	6030,08
	PN 405	0,16	26,50	6052,83
	PN 406	0,16	25,70	6241,25
	PN 407	0,16	25,80	6214,73
	PN 408	0,16	26,80	5982,84
	PN 409	0,16	26,20	6119,85
	PN 410	0,16	26,30	6113,31
	PN 411	0,16	26,70	6021,72
	PN 412	0,16	26,00	6183,85

Tabela A.14 – Índice esclerométrico do basalto

Pedras [cm]	Provetes	Ressalto VH
PN 7x7x7cm	PN31	111
	PN32	114
	PN33	107
	PN34	122
	PN35	117
	PN36	126